

Lars Kühl, Philipp Eickmeyer, Lindrun Winkler

Interface

Entwicklung von multifunktionalen Elementfassaden zur energetischen Sanierung von Nicht-Wohngebäuden



F 2754

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2010

ISBN 978-3-8167-8358-9

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Abschlussbericht

Interface

**Entwicklung von multifunktionalen Elementfassaden
zur energetischen Sanierung von Nicht-Wohngebäuden**

Januar 2009

Technische Universität Braunschweig
Institut für Gebäude- und Solartechnik
Univ. Prof. Dr.-Ing. M. N. Fisch
Mühlenpfordtstraße 23
38106 Braunschweig
(05 31) 391 3555 | igs@tu-bs.de | www.igs.bau.tu-bs.de



Projektleitung:
Dipl.-Ing. Philipp Eickmeyer

Projektmitarbeit:
Dipl.-Ing. (FH) Lindrun Winkler

„Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.

(Aktenzeichen: Z 6 – 10.08.18.7- 07.16/ II 2 – F20-07-32)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor“.

Auftraggeber:

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Referat II 2

Deichmanns Aue 31-37

53179 Bonn

(0228) 99-401-1641 | flh@irb.fraunhofer.de | www.bbr.bund.de

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Florian Hanusa



Kooperationspartner:

Schüco International KG

Karolinenstraße 1-15

33609 Bielefeld

(05 21) 78 30 | info@schueco.com | www.schueco.de

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Thomas Nolte



TROX GmbH

Heinrich-Trox-Platz

47504 Neukirchen-Vluyn

(02845) 202-0 | www.trox.de

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Dirk Scherder



GTE Gebäude- und Elektrotechnik GmbH & Co. KG

Building Automation over IP

Ohmweg 11-15

68199 Mannheim

(0621) 8101-251 | www.gte.wisag.de

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Jupp Gauchel



INHALT

1. EINLEITUNG	7
1.1. Einführung	8
1.2. Aufgabenstellung und Zielsetzung	8
1.3. Umsetzung	9
1.4. Arbeitsweise	11
1.5. Projektbeteiligte	11
2. GRUNDLAGENERMITTLUNG UND POTENTIALANALYSE	16
2.1. Einleitung	16
2.2. DeAL – Evaluierung dezentraler außenwandintegrierter Lüftungssysteme	16
2.3. Einsatz dezentraler Technik in der Sanierung	19
2.4. Potenzialanalyse	20
2.5. E ² -Fassade von Schüco	27
2.6. Fassadenlüftungsgeräte von TROX	31
2.6.1. Dezentrales Unterflur- Zu- und Abluftgerät mit WRG (Typ: Schüco IFV 120 GH, Hersteller: TROX GmbH)	32
2.6.2. Dezentrales Unterflur- Zuluftgerät ohne WRG (Typ: Schüco IFV 120 GI, Hersteller: TROX GmbH)	35
2.6.3. Unterdecken- Abluftgerät (Typ: Schüco IFV 120 CE, Hersteller: TROX GmbH)	38
2.6.4. Dezentrales Decken- Zu- und Abluftgerät mit WRG und Bypass (Typ: Schüco IFV 120 CB, Hersteller: TROX GmbH))	40
3. ENTWICKLUNG DER MUSTERFASSADE	44
3.1. Aufbau der Klimakammer	44
3.2. Einbau des Fassadenprüfmusters in der Klimakammer	45
3.3. Lüftungsvarianten	47
3.4. Außenluftbedingungen und Raumlufttemperatur	48
4. MESSKONZEPT	49
4.1. Messdaten und Anordnung der Messpunkte	50

4.2. Messtechnik	52
4.3. Thermische Behaglichkeit und Messgrößen	54
4.3.1. Raumlufttemperatur und globale Temperatur	56
4.3.2. Oberflächentemperatur an der Fassade	58
4.3.3. Relative Raumluftfeuchte	59
4.3.4. Luftverteilung und Raumluftgeschwindigkeit	60
4.3.5. Schalldruckpegelmessung außen und innen	63
4.3.6. Verhalten bei windstill, Winddruck und Windsog	64
4.4. Luftverteilung im Raum	65
4.4.1. Nebelversuche	65
4.4.2. Thermographie-Aufnahmen	66
5. MESSUNG: DEZENTRALE LÜFTUNGSGERÄTE	69
5.1. Ermittlung des Zuluftvolumenstroms	69
5.2. Vorlauftemperatur im Heiz- und Kühlfall	72
5.3. Zulufttemperatur	73
5.4. Temperatur vor dem Konvektor	77
5.5. wasserseitige Konvektorleistung	79
5.6. luftseitige Konvektorleistung	91
5.7. Konvektorleistungen, wasser- und luftseitig, im Vergleich	92
5.8. Bestimmung der Ventilatorleistung	94
5.9. Wärmerückgewinnung	94
5.10. Schalldruckpegelmessung	96
5.11. Verhalten bei windstill, Winddruck und Windsog	98
5.12. Kondensat	101
5.13. Vereisung an der Fassade	101
6. MESSUNGEN: RAUMKLIMA	103
6.1. Einbauvariante 1 Unterflurlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung	104
6.1.1. Raumlufttemperatur, globale Temperatur	104
6.1.2. Oberflächentemperaturen an der Fassade	107

6.1.3.	Relative Raumlufffeuchte	108
6.1.4.	Luftverteilung im Raum und Raumluffgeschwindigkeit für die Einbauvar. 1	111
6.2.	Einbauvariante 2	116
6.2.1.	Raumlufftemperatur, globale Temperatur	116
6.2.2.	Oberflächentemperaturen an der Fassade für die Einbauvariante 2	118
6.2.3.	Relative Raumlufffeuchte	120
6.2.4.	Luftverteilung im Raum und Raumluffgeschwindigkeit für die Einbauvar. 2	123
6.3.	Einbauvariante 3	128
6.3.1.	Raumlufftemperatur, globale Temperatur	128
6.3.2.	Oberflächentemperaturen an der Fassade	130
6.3.3.	Relative Raumlufffeuchte	132
6.3.4.	Luftverteilung im Raum und Raumluffgeschwindigkeit für die Einbauvar. 3	135
7.	VERGLEICH DER EINBAUVARIANTEN	139
7.1.	Vergleich der Konvektorleistung für Einbauvariante 1, 2 und 3	140
7.2.	Wärmeverbrauch – Einbauvariante 1, 2 und 3	142
7.3.	Luftverteilung im Testraum – Einbauvariante 1, 2 und 3	145
8.	ZUKUNFTSMÖGLICHKEIT DEZENTRALER GEBÄUDETECHNIK	159
8.1.	Wirtschaftlichkeit	160
8.1.1.	Stromkosten bei dezentralen Geräten	160
8.1.2.	Wartungskosten / Filterwechsel	161
8.2.	Vergleich dezentrale und zentrale Lüftungssysteme	164
8.3.	Multifunktionale Elementfassaden	167
8.3.1.	Dezentrale und modulare Gebäudetechnik zur Steigerung der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts	168
9.	ZUSAMMENFASSUNG UND LEITFADEN	172
9.1.	Zusammenfassung	173
9.2.	Planungsempfehlungen	174
10.	LITERATURANGABEN	183
11.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	188

Kapitel 1

Einleitung

1. EINLEITUNG

1.1. Einführung

Heutige Büroarbeitswelten weichen stark von denen der 50er bis 70er Jahre ab. Sowohl die Ausstattung der Büroarbeitsplätze hinsichtlich Funktion und Ergonomie, als auch die Art des Informationsflusses mittels technischer Medien und die sich ändernde Organisation des Arbeitsablaufs spielen bei der Gestaltung zukünftiger Arbeitsplätze eine große Rolle. Laut einer Umfrage des Institutes Gallup aus dem Jahr 2003 empfinden nur 12 % der deutschen Angestellten eine hohe persönliche Bindung an ihrem Arbeitsplatz. Unter Berücksichtigung der Steigerung der Leistungsbereitschaft bei Identifikation zum beschäftigenden Betrieb und zu dessen Zielen, wird an dieser Stelle das enorme Potential von nutzeroptimierten Arbeitswelten im Hinblick auf die Kreativität und die Leistungsfähigkeit der Nutzer und damit der Wirtschaftlichkeit im Betrieb deutlich.

Neben der flexiblen Ausstattung der Büroarbeitsplätze und der kommunikativen Transfermöglichkeiten ist ein optimiertes Raumklima ein weiteres Element, das für den Zufriedenheitsfaktor der Mitarbeiter und somit für eine steigende Leistungsbilanz eines Unternehmens entscheidend ist. Voraussetzung für ein optimiertes Raumklima ist eine klimagerechte Bauweise, emissionsarme Innenräume und ein energieeffizienter Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen. Eine gute Raumlufthqualität, die Akustik und das thermische Verhalten im Raum sind für die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter von großer Bedeutung. Die Verringerung der Wertschöpfung am Arbeitsplatz von nur einem Prozent durch ein schlechtes Raumklima entsprechen mehr als die jährlichen Kapital- und Betriebskosten der im Gebäude eingebauten Klima- und Heizungsanlagen.

1.2. Aufgabenstellung und Zielsetzung

Das Forschungsprojekt *„Entwicklung von multifunktionalen Elementfassaden zur energetischen Sanierung von Nicht-Wohngebäuden“* (Interface) untersucht die Potentiale dezentraler Lüftungstechnik zur Gewährleistung eines optimalen Raumklimas in Bürogebäuden bei gleichzeitiger Forderung nach flexibler, raumsparender Technik. Charakterisierend für die dezentralen Lüftungssysteme sind einerseits die raumweise Zu- und Abluftansaugung über die Außenfassade und andererseits die Möglichkeit der Konditionierung der Außenluft an jedem Gerät.

Im Vergleich zu zentralen Lüftungs- und Klimatisierungssystemen bietet die dezentrale Technik eine Reihe von Vorteilen, die für die Gebäudesanierung ausschlaggebend sind und elementarer Baustein zukünftiger Sanierungskonzepte für Bürogebäude darstellen.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Entfernen von abgehängten Decken – größere Gestaltungsfreiheit – ggf. Aktivierung der Speichermassen • Komfortverbesserung durch Sanierung • kleinere Technikzentralen • geringere Energiekosten • flexible Raumnutzung • Betrieb nur bei individueller Nutzerpräsenz im jeweiligen Raum • Nutzereinfluss auf das Raumklima mit individuellem Komfort • Sanierung abschnittsweise möglich • Sanierung im Betrieb möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Wartung erfolgt im vermieteten Raum • Be- und Entfeuchtung der Raumluft ist aufwändig • Winddruckkompensation bei hohen Gebäuden erforderlich • Einfluss von Thermikströmungen an der Fassade • für sehr hohe Raumlasten nicht geeignet • Berücksichtigung eines erhöhten Schalldruckpegels bei hohen Luftwechselraten

Tabelle 1 Vor- und Nachteile dezentrale Lüftungsgeräte

Dieses Forschungsprojekt soll einen Beitrag zur Beurteilung der Eignung von multifunktionalen Elementfassaden zur energetischen Sanierung von Nicht-Wohngebäuden (vornehmlich Bürogebäuden) leisten.

1.3. Umsetzung

Für die Untersuchung der relevanten Themen wurden folgende Bearbeitungsschritte, Aspekte und Fragestellungen festgelegt und untersucht:

Schritt 1: Grundlagenermittlung und Potentialanalyse

Aufzeigen von Problemen und Chancen der Sanierung von Gebäuden aus den 50er, 60er und 70er Jahren

- Modularisierung von Fassaden (Präfabrikation und „Baukastensystem“)
- Sanierungspotential im Betrieb (Architektur, Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung)
- Dezentrale Versorgungssysteme (Wärme, Strom, Kälte, Luft)

Fragestellungen:

- Wie können multifunktionale, modular aufgebaute Elementfassaden für die energetische Sanierung eingesetzt werden?
- Kann eine Sanierung ohne Entmietung vorgenommen werden – ist eine Vorfertigung von Elementfassaden möglich?
- Welche dezentralen Versorgungssysteme stehen zur Verfügung?

Schritt 2: Entwicklung und Bau einer Musterfassade

Aus den gewonnenen Erkenntnissen der theoretischen Untersuchungen wird im Labor des Instituts für Gebäude- und Solartechnik ein Versuchsaufbau bestehend aus Musterfassade und Klimakammer (Testbed) entwickelt. Zum Einsatz kommen dezentrale Geräte zur Belüftung des Raums. Dabei werden verschiedene Lüftungsstrategien untersucht und ein optimaler Betrieb unter folgenden Aspekten entwickelt.

- Verbesserung der Energieeffizienz
- Regelstrategien der dezentralen Technik
- Bau der Komponenten
- Testbetrieb im „Labor“
- avisiertes Einsatz im Feldversuch BS4

Fragestellungen:

- Wie sieht die Fassade bzw. die Integration der Lüftungsgeräte in der Fassade aus?
- Welche Auswirkung haben die unterschiedlich eingesetzten Lüftungsgeräte in der Elementfassade auf den Komfort, die Behaglichkeit und die Nutzerhandhabung?
- Wie hoch sind die Investitions- und Betriebskosten bzw. die Wartungs- und Instandhaltungskosten?

Schritt 3: Leitfaden

Die Ergebnisse aus den verschiedenen Laborversuchen werden in diesem Bericht zusammengefasst und aufgeführt.

- Bewertung des Sanierungspotentials
- Validierung der Annahmen

1.4. Arbeitsweise

Das Projekt „*Entwicklung von multifunktionalen Elementfassaden zur energetischen Sanierung von Nicht-Wohngebäuden*“ (Interface) ist ein Forschungsprojekt der Technischen Universität Braunschweig unter Einbindung von Verbundpartnern. Das Projekt wurde Ende 2007 über einen Zeitraum von 16 Monaten, zuzüglich 3 Monaten Verlängerung, bearbeitet. Hierbei haben die einzelnen Verbundpartner das Arbeitsthema gemeinsam entwickelt und die Ergebnisse in den „Planertreffen“ zusammengetragen und abgestimmt. Bei zwei Arbeitsgruppentreffen wurden die Ergebnisse einer Expertenkommission aus verschiedenen Arbeitsdisziplinen vorgestellt. Anregungen der Kommission sind in die Arbeit eingeflossen.

1.5. Projektbeteiligte

Antragsteller:

Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS) – Technische Universität Braunschweig

Das Institut für Gebäude- und Solartechnik ist eines der führenden Forschungseinrichtungen in Deutschland auf dem Gebiet des Energieoptimierten Bauens und der thermischen Solarenergienutzung. Im Mittelpunkt der Projekte, die u.a. durch mehrere Bundesministerien, die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und die EU gefördert werden, stehen Demonstrationsgebäude und Evaluierungen bestehender Gebäude ebenso wie innovative Sanierungskonzepte für Bürogebäude, Schulen und Museen sowie solar und CO₂ - emissionsneutrale Energiekonzepte im Nahwärmeverbund für Siedlungen.

Das IGS bearbeitet dabei das gesamte Spektrum des Technischen Ausbaus, der Bauphysik, des Energiedesigns sowie der passiven und aktiven Solarenergienutzung für Wohn- und Bürogebäude. Neben dem Neubau von Gebäuden stehen dabei zunehmend der Baubestand und die Sanierung im Mittelpunkt.

Leiter des Instituts ist seit 1996 Professor Dr.-Ing. M. Norbert Fisch. Arbeitsschwerpunkt und „Philosophie“ ist die Integrale Planung von Gebäuden unter Berücksichtigung aller für den Energieverbrauch und den Komfort eines Gebäudes relevanten Aspekte. Ein Team von ca. 20 Mitarbeitern arbeitet an innovativen Lösungen in den Bereichen Bauphysik, Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und regenerativer Energieversorgung.

Forschung und Entwicklung neuer Konzepte, Systeme und Komponenten innovativer Architektur werden mit Computer gestützten Simulationen, experimentellen Untersuchungen im Institutslabor sowie der Umsetzung und Validierung in der Praxis betrieben. Das IGS kooperiert dabei in vielen Projekten u.a. mit mehreren Bundesministerien (BMWi, BMU, BMVBS), mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und Unternehmen aus der Wirtschaft.

Die Ergebnisse der Arbeit finden unmittelbar Eingang in das Lehrprogramm des Instituts. Neben Vorlesungen zu Grundlagen (Bauphysik, Technische Gebäudeausrüstung) und den Vertiefungsfächern (Energiedesign, Solartechnik,...) bietet das IGS Studierenden ein

Simulationslabor, in dem sie die Möglichkeiten neuester Software für die Integrale Planung von Gebäuden unmittelbar erleben.

Kooperationspartner:

Schüco International KG

Schüco International KG ist europaweit führender Anbieter für systemgestütztes Bauen mit Aluminium, Stahl, Kunststoff und Solar. Als Innovationsführer der Branche liefert Schüco Komponenten für die gesamte Gebäudehülle inklusive spezieller Softwarelösungen hinsichtlich Planung, Konstruktion, Kalkulation und Fertigung. Als global agierendes Unternehmen kooperiert Schüco mit Architekten, Investoren und Fertigungsbetrieben in nahezu allen Ländern der Erde. Mit dem ausgefeilten Konzept der Systempartnerschaft positioniert sich Schüco weltweit nicht allein über die technische Kompetenz, sondern als ein Unternehmen, das ganzheitlich für den Erfolg aller Partner tätig ist.

Schüco International KG in Zahlen:

- 5.500 Mitarbeiter weltweit
- davon 3.600 Mitarbeiter in Deutschland
- 2,2 Mrd Euro Umsatz im Jahre 2008

TROX GmbH

Die Kunst, mit Luft souverän umzugehen, versteht TROX wie kaum ein anderes Unternehmen. In enger Partnerschaft mit anspruchsvollen Kunden in aller Welt, ist TROX führend in der Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von Komponenten und Systemen zur Lüftung und Klimatisierung von Räumen.

Die planmäßige Forschung und Entwicklung für die verschiedenen Produkte wird zunehmend durch projektbezogene Entwicklungsaufträge ergänzt. Mit kundenindividuellen Lösungen setzt TROX dabei wegweisende Standards und eröffnet sich in aller Welt immer wieder neue Märkte und nachhaltige Absatzchancen. So ist TROX seit der Einführung des ersten Deckeninduktionsdurchlasses in den 80er Jahren europaweit der führende Lieferant dieses vielseitigen Produkts.

TROX legt großen Wert auf Kundenbetreuung und bietet während der gesamten Projektierungs-, Erstellungs- und Nutzungsphase einer Lüftungs- und Klimaanlage Unterstützung bei der Planung und Beschaffung der Komponenten und Systeme sowie beim Service und bei der Wartung.

TROX GmbH in Zahlen:

- 3.000 Mitarbeiter weltweit
- 380 Mio. Euro Umsatz im Jahre 2008
- 24 Tochtergesellschaften in 22 Ländern
- 13 Produktionsstätten in 11 Ländern
- 11 Forschungs- und Entwicklungszentren weltweit
- mehr als 25 weitere eigene Vertriebsbüros und über 50 Vertretungen und Importeure in aller Welt

Imtech Deutschland GmbH / GTE Gebäude- und Elektrotechnik GmbH & Co. KG

Imtech ist Deutschlands führender Anlagenbauer in der technischen Gebäudeausrüstung und beging 2008 sein 150-jähriges Jubiläum. Über 4.500 Mitarbeiter planen, bauen und betreiben Energie-, Klima-, Kommunikations- und Sicherheitstechnik für Arenen, Schiffe, Flughäfen, Industrieanlagen und andere Gebäude. Die Imtech Deutschland Gruppe gehört zum europaweit agierenden Imtech N.V. Konzern mit Sitz in Gouda, Niederlande. Imtech N.V. hat insgesamt 19.000 Mitarbeiter und ist an der Euronext Stock Exchange in Amsterdam notiert.

Externe Experten des Forschungsprojekts:

- **Andreas Schlüter**
Staatliches Baumanagement Braunschweig
An der Martinikirche 7
D-38100 Braunschweig

- **Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. E. Schnieder**
Technische Universität Braunschweig
Institut für Verkehrssicherheit- und Automatisierungstechnik
Langer Kamp 8
D-38106 Braunschweig

- **Dr.-Ing. Birgit Müller**
Technische Universität Berlin
Institut für Energietechnik – Fachgebiet: Heiz- und Raumluftechnik
Hermann-Rietschel-Institut
Marchstr. 4
10587 Berlin

- **Dipl.-Ing. F. Hanusa**
Zukunft Bau c/o BBR
Deichmanns Aue 31-37
D-53179 Bonn

Kapitel 2

Grundlagenermittlung und Potentialanalyse

2. GRUNDLAGENERMITTLUNG UND POTENTIALANALYSE

2.1. Einleitung

Viele Nicht-Wohngebäude aus der Zeit erhöhter Bautätigkeit zwischen den 50er und 80er Jahren sind sanierungsbedürftig. Die Chancen und Herausforderungen der Instandsetzung von Gebäudehülle und TGA Komponenten mit dezentralen Systemen werden im Forschungsprojekt Interface analysiert. Dabei kann auf den Ergebnissen von zwei bereits abgeschlossenen Projekten aufgebaut werden. In PROsab – Energieeffiziente und komfortgerechte Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre“ [2] sind typische Sanierungsbausteine architektonisch, funktionell, baukonstruktiv sowie anlagentechnisch entsprechend der Gebäudealtersklasse strukturiert worden. DeAL – Evaluierung dezentraler außenwandintegrierter Lüftungssysteme [3] hat in der Zeit von 2006-2008 dezentrale außenwandintegrierte Lüftungssysteme in Bürogebäuden untersucht.

Die Ergebnisse aus Interface werden in einer Potenzialanalyse zusammengefasst und sollen als Planungswerkzeug im Bereich der Sanierung von Nicht-Wohngebäuden dienen. Hiermit kann in kurzer Zeit überprüft werden, ob die Randbedingungen und zukünftigen Anforderungen an das Gebäude, eine Sanierung unter Verwendung dezentraler Versorgungstechnik sinnvoll erscheinen lässt.

2.2. DeAL – Evaluierung dezentraler außenwandintegrierter Lüftungssysteme

Das oben angesprochene Forschungsprojekt „DeAL“ untersucht Bürogebäude die nach dem Jahr 2000 errichtet wurden und mit dezentraler Technik ausgestattet sind - auf Potenziale der Sanierung mit dezentraler Technik wird allerdings nicht eingegangen. Es werden Vorteile wie z.B. die individuelle Steuerung des Raumklimas, die hohen Flächeneffizienz und der geringere Energieverbrauch, sowie die Nachteile wie die aufwändigere Wartung und die vielen Fassadendurchdringungen genauer untersucht. Des Weiteren wurden bei den in DeAL untersuchten Gebäuden höhere Investitionskosten festgestellt, die in der Folge genauer betrachtet werden.

Im Rahmen des Projekts erfolgten Komfortmessungen in insgesamt zehn Gebäuden. Um eine repräsentative Aussage über die Leistungsfähigkeit der Geräte zu erhalten, wurden Räume mit unterschiedlichen Orientierungen im Gebäude ausgewählt, Temperaturen am Arbeitsplatz und an der Fassade, der Schalldruckpegel am Gerät und am Arbeitsplatz bei verschiedenen Lüfterstufen, die Luftbewegung und die Luftfeuchtigkeit im Raum gemessen.

Des Weiteren wurden die spezifischen Energieverbräuche durch die Abrechnung der Energieversorger bestimmt und den Daten vergleichbarer Gebäude gegenübergestellt. Zudem sind Nutzer- sowie Betreiberbefragungen durchgeführt worden.

Aus diesen Messungen und Befragungen wurden erste Erkenntnisse zur Eignung von dezentralen Lüftungssystemen in Bürogebäuden gezogen. Mit den Untersuchungen aus „DeAL“ wurde deutlich, dass die neue Technik ein großes Potential besitzt und durch Neuerungen bei den Geräten eine Alternative zu herkömmlichen Klimatisierungsmethoden mit großen zentralen Lüftungsanlagen und dem dazugehörigen Leitungsnetz darstellt.

Hinsichtlich der Energieeffizienz der Gebäude konnte tendenziell ein signifikant niedriger Heizwärmeverbrauch und ein geringerer Stromverbrauch als bei Bürogebäuden mit dezentraler Lüftungstechnik festgestellt werden, siehe Abbildung 1. Zwei Ergebnisse der Untersuchung sind:

- Der in der „Jahres Summe Heizung“ enthaltene Lüftungswärmebedarf berechnet sich aus dem Nutzerverhalten und ist, abhängig von der Präsenz, bei dezentraler Lüftungstechnik um 18% geringer.
- Bei dezentralen Geräten wird der vom Hersteller angegebene spezifische Energiebedarf von 0,17 W je m³ geförderte Luftmenge angesetzt. Beim zentralen Lüftungssystem wird der spezifische Energiebedarf einer durchschnittlich guten Anlage mit 0,5 W je m³ geförderte Luftmenge angenommen. (Quelle: DeAL- Abschlussbericht)

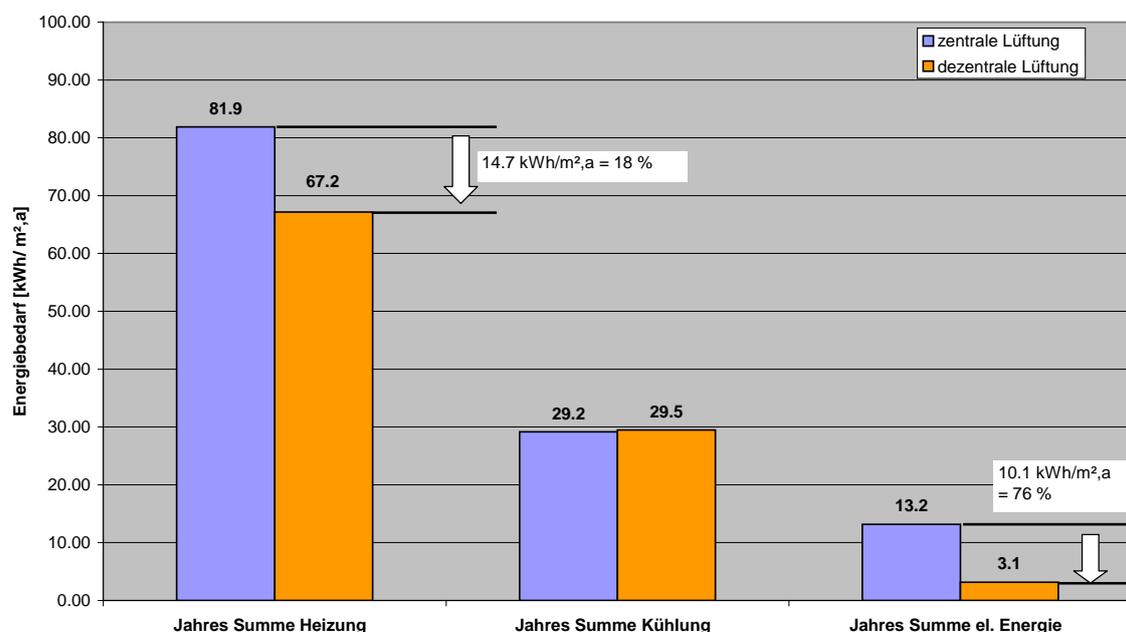


Abbildung 1 Vergleich des spezifischen Energiebedarfs bei zentraler und dezentraler Lüftung (Quelle: DeAL- Abschlussbericht)

In dem Forschungsvorhaben hat sich gezeigt, dass dezentrale Lüftungstechnik als integraler Bestandteil eines Niedrigenergiekonzepts zu einem geringeren Energieverbrauch und höherer Energieeffizienz führen kann als bei vergleichbaren Bürogebäuden ohne dezentrale Technik.

Die Lang- und Kurzzeitmessungen sowie die Nutzerumfragen haben ergeben, dass der thermische Komfort am Arbeitsplatz in den untersuchten Gebäuden sehr gut ist – es kam selten zu Überhitzungsproblemen. Lediglich die Schallemissionen am Arbeitsplatz bedingt durch die dezentralen Lüftungsgeräte wurden als verbesserungswürdig angesehen. Hier wird seitens der Hersteller an Lösungen gearbeitet und die Erfolge der letzten Jahre lassen hoffen, dass die neue Generation von Geräten geringere Schallemissionen aufweisen wird.

Das Hauptargument der Hersteller die dezentralen Lüftungsgeräte individuell zu bedienen und damit eine hohe Energieeffizienz und geringe Laufzeiten zu erreichen, wird momentan in vermessenen Gebäuden nicht konsequent umgesetzt – es fehlen Präsenzmelder, die die Anwesenheit der Nutzer registrieren oder mit dem dezentralen Lüftungsgerät verbundene Fensterkontakte, die das Abschalten der Geräte bewirken. Des Weiteren wurden die Geräte in „DeAL“ häufig in Großraumbüros eingesetzt, wo eine individuelle Aktivierung der Geräte aufgrund differenzierter Behaglichkeitsempfindungen einen geringeren Nutzen hat. Ein weiterer Faktor ist die Unkenntnis der Nutzer in Bezug auf die dezentrale Technik, so dass es zu erhöhtem Energieaufwand oder zu unnötig schlechtem Behaglichkeitsempfinden (z.B. Zugerscheinungen) aufgrund von Fehlbedienungen kommen kann.

Der Wartungsaufwand für dezentrale Geräte ist unter Umständen höher als bei einer zentralen Belüftung / Klimatisierung. Aufgrund der großen Anzahl der Geräte im Gebäude ist ggf. mit einem höheren Aufwand und entsprechend mit höheren Unterhaltungskosten im Vergleich zur zentralen Lüftungstechnik zu rechnen. Die unter dem Aspekt der Wartungsfreundlichkeit verbesserten neueren Geräte lassen eine weniger aufwändige Inspektion erwarten.

Hinsichtlich der Flächen- und Höheneffizienz bietet die dezentrale Lüftungstechnik neue Möglichkeiten. Neben dem Verzicht auf große Technikzentralen können aufwändige Deckenabhängungen zur Unterbringung von Luftkanalquerschnitten, welche über den Mindestluftwechsel hinausgehen, vermieden werden.

Durch „DeAL“ wurde das Potential der Geräte beim Einsatz in Neubauten nachgewiesen. Besonders vorteilhaft können dezentrale Lüftungsgeräte genutzt werden, wenn die Technik im Rahmen einer integralen Planung von Beginn an berücksichtigt und insbesondere mit der Fassadenplanung, Architektur und der Gebäudetechnik abgestimmt wird. Ziel der folgenden Untersuchung ist die Eignung dezentraler Technik bei der Sanierung von Bürogebäuden. Die Investitionen in den Gebäudebestand überschreiten inzwischen die für neue Gebäude und

lassen eine große Nachfrage erwarten. Im frühen Planungsstadium muss daher die Nutzung der dezentralen Technik als Alternative zu zentraler Lüftungstechnik überprüft werden.

2.3. Einsatz dezentraler Technik in der Sanierung

Bei der Sanierung von Bürogebäuden aus den 50er, 60er und 70er Jahre, bedarf es meistens einer kompletten Auswechslung der Fassade oder der Anpassung des Fassadensystems an die neuen Randbedingungen. Dadurch werden mit der Sanierung der Fassade die technischen Anforderungen an das Innenraumklima verändert. Ein verminderter Wärmebedarf ermöglicht eine Anpassung des Heizsystems. Ebenso werden alternative Lüftungsstrategien möglich (dezentrale Lüftung mit Heiz- und Kühlfunktion zur Verbesserung des Komforts, Nachtlüftung, Querlüftung), die zentralen Lüftungsanlagen in Frage stellen. Hier spielen Aspekte des Rückbaus bestehender abgehängter Anlagen und der damit gewonnene Raumgewinn für eine flexible Nutzung der Etage eine entscheidende Rolle.

Eine neue Gebäudehülle sollte in der Regel auf den sommerlichen Wärmeschutz unter den Aspekten Verglasungsanteil, Verglasungsqualität und Sonnenschutz optimiert werden. Die Potenzialabschätzung bewertet diese Aspekte als Zusammenspiel der architektonischen und der technischen Komponenten. Die Auswirkungen auf die Komfortbedingungen, Wohlbefinden und Produktivität sind berücksichtigt.

Moderne Bürogebäude zeichnen sich durch eine flexible Grundrissgestaltung und durch die Nutzung von Tageslicht aus. Moderne EDV Technik, in Kombination mit großzügigen Ganzglasfassaden lässt für den Sommerfall häufig ein Kühlbedarf entstehen. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts „PROsab – Energieeffiziente und komfortgerechte Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre“ verdeutlichen, dass die Bürogebäude aus jener Zeit nicht für die o.g. Zielsetzungen bzw. Bedingungen ausgelegt sind – in den seltensten Fällen wurde bei Baubeginn eine mechanische Lüftung oder Klimaanlage vorgesehen. Aufgrund der qualitativ minderwertigen Gebäudehülle und der fehlenden mechanischen Technik zur Konditionierung der Raumluft kommt es in diesen Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre häufig zu erhöhten Innenraumtemperaturen und damit zu Überhitzungsstunden im Sommer.

Bei einer Sanierung der Gebäudehülle und –technik besteht die Möglichkeit dezentrale Lüftungsgeräte zu integrieren. Dabei wird die gesamte Gebäudetechnik in der Fassade verlegt. Heizen, Lüften und Kühlen erfolgt dezentral über die Außenhaut, individuell und bedarfsgerecht für jeden Raum. Die Lüftungsgeräte mit den Konditionierungsmöglichkeiten befinden sich entweder in der Fassadenbrüstung, im Doppelboden an der Fassade oder unmittelbar vor den Stirnseiten der Deckenkonstruktion. Für diesen Fall ist von einem Statiker zu prüfen, ob die Decke den neuen statischen Lasten der Fassade und der Technik

standhält. Vorteilhaft bei der Integration der Lüftungsgeräte an der Deckenkonstruktion ist der zusätzliche Nutzflächengewinn, da der Platz den das Lüftungsgerät in Anspruch nimmt, der Nutzfläche des Raumes zugeschlagen wird (siehe E²-Fassade).

Zentrale Systeme bedürfen einer Luftverteilung, die in Kanälen geführt wird. Die Integration dieser Kanäle in einer Etage verursacht größere Geschosshöhen. Dies muss bei der Errichtung von Gebäuden berücksichtigt werden, da ein nachträglicher Einbau bei Gebäuden dieser Altersklassen nahezu unmöglich ist. Durch die positiven Ergebnisse im Forschungsprojekt „DeAL“, welches sich ausschließlich mit Neubauten beschäftigt, liegt die Vermutung nahe, dass sich die dezentrale Technik auch für die Sanierung von Bürogebäuden eignet – besonders unter dem Aspekt der möglichen Konditionierung der Raumluft.

Die folgende Potenzialanalyse bietet eine Arbeitshilfe beim Entscheidungsprozess, in wie weit die dezentrale Technik bei der Sanierung von Bürogebäuden sinnvoll eingesetzt werden kann.

2.4. Potenzialanalyse

Bei dem entwickelten Bewertungssystem sind typische Gebäudemerkmale und -parameter in einer Tabelle aufgeführt. Diese Merkmale werden hinsichtlich der Sanierung mit dezentraler Lüftungstechnik untersucht und grafisch durch die Verwendung von drei verschiedenen Farben beurteilt. Folgende Farben und Bewertungen kommen dafür zum Einsatz:

Rot – Der Einsatz dezentraler Technik wird nicht empfohlen bzw. ist nicht sinnvoll.

Gelb – Der Einsatz dezentraler Technik kann in Erwägung gezogen werden.

Grün – Der Einsatz dezentraler Technik ist für die Sanierungsmaßnahme sinnvoll.

Die **vorhandene technische Ausstattung** sollte bei den zukünftigen Anforderungen und dem angestrebten Komfort innerhalb des Gebäudes berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass je nach Grad der vorhandenen technischen Ausstattung eine Neuinvestition mit dezentraler Technik hinterfragt werden muss. Ist bereits eine überdurchschnittliche Installation in Form einer zentralen mechanischen Lüftung in einem Bürogebäude der 50er bis 70er Jahre vorhanden, dann sollte von einer Sanierung mit dezentralen Geräten abgesehen werden. Andererseits bietet sich ein Bürogebäude mit geringer technischer Ausstattung und Wunsch nach hohem Nutzerkomfort dafür an, mit dezentralen Lüftungsgeräten nachgerüstet zu werden.

Neben der vorhandenen technischen Ausstattung eines bestehenden Gebäudes sind noch weitere Faktoren entscheidend, ob der Einsatz dezentraler Geräte bei einer Sanierung sinnvoll ist.

Der **Standort** eines Bürogebäudes und die Situation in der Umgebung (Infrastruktur) muss berücksichtigt werden. Die hohe Anzahl an Öffnungen in der Fassade für die An- und Absaugvorrichtungen der dezentralen Geräte im Vergleich zur zentralen Variante hat Einfluss auf den Nutzerkomfort. Das Gebäude tritt also stärker mit seiner Umgebung in Kontakt, so dass der städtebauliche Kontext eine entscheidende Rolle spielt. Verunreinigungen in der Luft in Form von Schadstoffen können unter Umständen über die Geräte vermehrt in den Innenraum geführt werden. Einerseits kann diesem Effekt durch häufigen Filterwechsel entgegen gewirkt werden, andererseits ist damit ein zusätzlicher Aufwand in der Wartung der Geräte verbunden. Bei schallbelasteten Standorten, wie z.B. Hauptverkehrsstraßen bieten sich dezentrale Lüftungsgeräte als Option gegenüber einer Fensterlüftung an – mit der Gewährleistung der Außenluftfrate durch die dezentrale Technik lässt sich der Nutzerkomfort am Arbeitsplatz steigern.

Die **Konstruktion** eines Gebäudes gibt vor, ob dezentrale Lüftungsvarianten integrierbar sind. Nach Untersuchung verschiedener Konstruktionsarten (1/ 2/ 3) wird deutlich, dass es lediglich bei der Massivbauweise zu Schwierigkeiten kommen kann, wenn die Außenwand tragend ist.

Die **Fassaden** bzw. üblichen Fassadenkonstruktionen von Bauten der 50er bis 70er Jahre lassen in der Regel die Sanierung mit dezentraler Technik zu. Ein Austausch der gesamten Gebäudehülle erleichtert dabei den Einsatz. Fassadentypen wie die Bandfassade oder die Elementfassade sind sehr flexibel und stellen daher kein Hindernis für die Verwendung dezentraler Technik dar. Lediglich die Lochfassade, wenn sie als tragende Außenwand ausgeführt wird, schränkt die Möglichkeiten ein.

Der Einsatz dezentraler Lüftungsgeräte erfolgt häufig an der Fassade. Da die Wirkungsbereiche zur Konditionierung bis zu einer Raumtiefe von ca. 6 m reichen, ist die **Grundriss**-Organisation in den Entscheidungsprozess mit einzubeziehen. Bei großen Gebäudetiefen kann die Versorgung mit Frischluft und/ oder Kälte so unter Umständen nicht ausreichend sein. Hingegen ist die Grundrissgestaltung durch den Einsatz dezentraler Geräte sehr flexibel, da sie in der Regel in den Fassadenachsen liegen. Die zentrale Technik hat einen vordefinierten Luftstrom an einem vordefinierten Auslass – wird dieser verändert, besteht die Möglichkeit, dass ein Raum einen zu geringen Mindestluftwechsel aufweist.

Weiteres Hauptentscheidungskriterium ist die **Anforderung** des Nutzers an das Gebäude. Die Nutzung ist die Basis um Kriterien zu definieren, die das Gebäude erfüllen muss. Hier ist zu prüfen, ob die Vorgaben mit dezentraler Klimatechnik erfüllt werden können.

Als Vorteil der dezentralen Technik wird die individuelle Regelbarkeit gesehen. Vom Nutzer kann jedes Gerät separat bedient und somit die Raumkonditionierung beeinflusst werden. So lassen sich z.B. die Luftwechselrate oder die Temperatur bedarfsgerecht einstellen. Mit der dezentralen Lüftungstechnik ist zudem eine einfachere Abrechnung der Betriebskosten für bestimmte Mietbereiche möglich. Somit unterstützt die dezentrale Technik Energiekosten einzusparen – Leerstände müssen nicht zwangsweise konditioniert werden. Eine zentrale Klimatisierung ist nur Geschossweise abzuschalten und bietet nicht die Möglichkeit einzelne Räume aus der Versorgung zu entkoppeln.

Durch den Einsatz dezentraler Technik kann die Flächeneffizienz des Gebäudes erhöht werden. Der Platzbedarf für Steigeschächte und Technikräume fällt deutlich geringer aus bzw. entfallen komplett. Das bei der zentralen Klimatechnik notwendige Luftverteilungsnetz, in der Regel in abgehängten Decken, entfällt und ermöglicht beim Neubau geringere Geschosshöhen. In Regelgeschossen mit dezentraler Technik können Raumhöhen von 3 m realisiert werden. Im Vergleich dazu werden bei zentraler Lüftung mindestens 3,3 m benötigt. Bei gleicher Gesamtbauhöhe eines Gebäudes kann somit alle 11 Etagen ein zusätzliches Mietgeschoss errichtet werden. Der Bauherr erzielt somit einen Flächengewinn und erhält mehr vermietbare Fläche.

Bei der Sanierung kann durch den Rückbau des Luftverteilungsnetzes und der abgehängten Decke die lichte Raumhöhe vergrößert werden. Die freiwerdende Decke kann durch das Einbringen von Kapillarrohrmatten zum Heizen und Kühlen genutzt werden und bietet mit geringen Systemtemperaturen die Möglichkeit zur effektiven Kombination der dezentralen Technik mit regenerativen Energieerzeugern. Für die Teilklimatisierung von Gebäuden stellt diese Variante eine sinnvolle Alternative dar. Wird eine Vollklimatisierung erwartet, hat aufgrund hoher Investitions- und Wartungskosten bei dezentraler Lüftung die zentrale Lüftungsvariante Vorteile. Das Be- und Entfeuchten von Luft ist bei dezentraler Lüftung im Vergleich zu zentralen Geräten sehr aufwendig und kostenintensiv.

Bei dezentralen Systemen wird die Außen- und Fortluft direkt an der Fassade angesaugt bzw. wieder abgegeben. Da beide Öffnungen häufig nah beieinander liegen, besteht die Möglichkeit eines Kurzschlusses zwischen Fort- und Außenluft. Das kann im normalen Büroalltag toleriert werden – sind aber Sondernutzungen, wie z.B. Labore vorgesehen, können diese Luftüberlagerungen zu Problemen führen und müssen ausgeschlossen werden. Hier kommen Zentralgeräte zum Einsatz.

Häufig ist es Nutzerwunsch neben einer mechanischen Belüftung des Raums das Fenster öffnen zu können. Bei Dezentralgeräten kann die Lüftungs- und Kühlfunktion in diesem Fall durch einen Fensterkontakt unterbrochen werden. Der Aufwand die Gleichzeitigkeit zu unterbinden ist bei zentraler Versorgung nur durch großen technischen Aufwand realisierbar.

Durch die individuelle Regelbarkeit, kann das dezentrale System im Vergleich zur zentralen Variante flexibler auf die Anforderungen reagieren bzw. gesteuert werden.

Für beide Lüftungssysteme sind Geräte mit Wärmerückgewinnung erhältlich. Während die dezentralen Geräte Rückwärmehzahlen von derzeit ca. 40-60 % erreichen, sind die zentralen Lösungen aufgrund ihrer Größe deutlich effizienter. Hier können ca. 60-80 % zurück gewonnen werden. Bei der Kombination von dezentraler Zuluft über die Fassade und zentraler Abluft im Gebäude lassen sich ebenfalls hohe Wärmerückgewinnungsgrade erzielen.

Die dezentrale Technik lässt sich in Elementfassaden integrieren. Dadurch kann ein hoher Grad an Vorfertigung des TGA-Gewerks erreicht werden. Stückweise werden die Fassadenelemente auf die Baustelle geliefert und vor Ort montiert. Das ermöglicht eine Sanierung in Abschnitten und verkürzte Bauzeiten. Eine temporäre Entmietung kann in der Regel vermieden werden.

In der folgenden Matrix sind Vor- und Nachteile dezentraler Lüftung im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten zusammengestellt. Sie ist als Entscheidungsgrundlage für die Planung gedacht und wichtet die Potenziale für die Verwendung bei komplexem Bauvorhaben, insbesondere unter dem Aspekt der Sanierung. Sie ist kein Ersatz für eine individuelle Auslegung.

Potenzial zur Sanierung mit dezentralen Lüftungsgeräten

	Wertung
Standort	
Hochhaus (z.B. höhere Windbelastungen)	■
hohe Luftverunreinigung in Umgebung	■
schallbelastete Umgebung (z.B. Hauptverkehrsstraße, Flughafen,...)	■
hohes Personenaufkommen	■
Konstruktion	
Massivbau	■
Skelettbau	■
Rahmenkonstruktion (z.B. Stahl)	■
Fassadentyp	
Lochfassade	■
Bandfassade	■
Elementfassade	■
Pfosten-Riegel-Fassade	■

Grundriss

Zellenbüro	■
Gruppenbüro	■
Kombibüro	■
Großraumbüro (Kombination dezentral / zentral)	■
Raumtiefe >6m	■

Anforderungen

geringer Flächenbedarf für Luftverteilung	■
freie Decken	■
geringer Platzbedarf Technikzentrale	■
flexibler Grundriss	■
individuelle Regelungsmöglichkeit	■
Übersichtliche und einfache Kostenermittlung für einzelne Mietbereiche	■
Vollklimatisierung	■
keine Schadstoffüberlagerung aus anderen Raumbereichen	■
Nutzung flächenaktiver Heiz- oder Kühlsysteme	■
geringe Bauzeit-Montage vor Ort	■
Wärmerückgewinnung	■
Möglichkeit der Fensterlüftung	■
Kurzschlussgefahr von Luftströmen	■
Sanierung im Betrieb	■

Bestand Technische Ausstattung Heizen

Flächenheizsystem (Fußboden, Decke, Wand)	■
Radiatoren	■
Klimaanlage	■

Bestand Technische Ausstattung Kühlen

Flächenkühlsystem	■
Klimaanlage	■

Bestand Technische Ausrüstung Lüften

Mechanische Lüftung zentral	■
Mechanische Lüftung dezentral	■
Fensterlüftung	■

Einsatz dezentrale Technik empfehlenswert? ■ ■ ■

Abbildung 2 Matrix: Potenzial zur Sanierung mit dezentralen Lüftungsgeräten

In dem Forschungsprojekt „PROsab – Energieeffiziente und komfortgerechte Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre“ [2] wurden ca. 15 - 20 typische Bürogebäude untersucht. Durch eine Bestandsaufnahme und eine detaillierte Bauwerksanalyse wurden Lösungsansätze und Konzepte für eine Sanierung im Rahmen einer Machbarkeitsstudie entwickelt. Die Forschungsarbeit ist Grundlage für die Entwicklung der Matrix in Abbildung 3. Anhand von drei ausgewählten Gebäudebeispielen aus PROsab (siehe Steckbriefe PROsab-Gebäude im Anhang) wird die Funktionsweise der Matrix dargestellt, um eine Bewertung hinsichtlich des Einsatzes dezentraler Lüftungsgeräte bei einer Sanierung zu überprüfen.

Potenzial zur Sanierung mit dezentralen Lüftungsgeräten

	Wertung	Bestand Geb.1	Bestand Geb.2	Bestand Geb.3
Standort				
Hochhaus (z.B. höhere Windbelastungen)	■	✓		
hohe Luftverunreinigung in Umgebung	■	✓		
schallbelastete Umgebung (z.B. Hauptverkehrsstraße, ...)	■	✓	✓	
hohes Personenaufkommen	■	✓		
Konstruktion				
Massivbau	■			
Skelettbau	■	✓	✓	
Rahmenkonstruktion (z.B. Stahl)	■			✓
Fassadentyp				
Lochfassade	■		✓	
Bandfassade	■			
Elementfassade	■	✓		
Pfosten-Riegel-Fassade	■			✓
Grundriss				
Zellenbüro	■	✓	✓	✓
Gruppenbüro	■	✓		✓
Kombibüro	■			
Großraumbüro (Kombination dezentral / zentral)	■			
Raumtiefe >6m	■			

Anforderungen				
geringer Flächenbedarf für Luftverteilung	■	✓	✓	
freie Decken	■	✓	✓	
geringer Platzbedarf Technikzentrale	■	✓	✓	
flexibler Grundriss	■	✓	✓	✓
individuelle Regelungsmöglichkeit	■	✓	✓	✓
einfache Kostenermittlung für einzelne Mietbereiche	■	✓	✓	
Vollklimatisierung	■			✓
keine Schadstoffüberlagerung aus anderen Raumbereichen	■	✓	✓	✓
Nutzung flächenaktiver Heiz- oder Kühlsysteme	■			
geringe Bauzeit-Montage vor Ort	■			
Wärmerückgewinnung	■			
Möglichkeit der Fensterlüftung	■	✓	✓	
Kurzschlussgefahr von Luftströmen	■			
Sanierung im Betrieb	■			
Bestand Technische Ausstattung Heizen				
Flächenheizsystem (Fußboden, Decke, Wand)	■			
Radiatoren	■	✓	✓	
Klimaanlage	■			✓
Bestand Technische Ausstattung Kühlen				
Flächenkühlsystem	■			
Klimaanlage	■			✓
Bestand Technische Ausrüstung Lüften				
mechanische Lüftung zentral	■			✓
mechanische Lüftung dezentral	■			
Fensterlüftung	■	✓	✓	
Sanierung mit dezentraler Technik empfehlenswert?		■	■	■

Abbildung 3 Matrix: Potential zur Sanierung mit dezentralen Lüftungsgeräten – Auswertung

Ein Großteil des Gebäudebestands aus den 50er bis 70er Jahre ist sanierungsbedürftig und entspricht nicht mehr dem Stand der heutigen Technik. Durch eine nachhaltige Sanierung besteht das Potenzial die technische Versorgung des Gebäudes zu erweitern. So kann der Nutzerkomfort durch mechanische Belüftung und Kühlung verbessert werden. Gleichzeitig aber verursacht der Einsatz technischer Systeme zur Konditionierung einen höheren

Energieverbrauch. Antriebsenergie für Ventilatoren und ggf. Kühlenergie müssen bereitgestellt werden. Die Industrie arbeitet an Lösungen zur Kompensation des Mehrverbrauchs. Durch die Integration von Photovoltaikmodulen in die Fassade soll der Mehraufwand für Strom ausgeglichen werden. Solar angetriebene Gleichstrommotoren können den Energiebedarf direkt decken. Geforscht wird auch auf dem Gebiet der fassadenintegrierten solaren Kühlsystemen für die zeitlich angepasste Raumkonditionierung. Hierzu sind thermische Kollektoren in die Fassade zu integrieren.

Die Vision eines energieautarken Gebäudes rückt dadurch ein Stück näher. Ein Gebäude agiert über die Fassade, das Dach und die Bodenplatte mit seinem Standort und der Umwelt. Die Fassade hat den größten Anteil an der Gebäudehülle. Ziel ist es, die hier möglichen Energiegewinne direkt zu nutzen und so Leitungsverluste zu minimieren.

Mit Hilfe neuer Fassadensysteme, bei denen die dezentrale Gebäudetechnik bereits integriert ist, werden aus alten, unflexiblen Bürogebäuden nachhaltige, innovative Gebäude, die einen hohen Komfort, eine große Flexibilität und Energieeffizienz ermöglichen. Architektonisch bieten diese Fassaden große Gestaltungsfreiheit, da sie inklusive der Gebäudetechnik so angefertigt werden können, wie sie vom Architekten und Energiedesigner geplant worden sind. Durch die Sanierung mit multifunktionalen Elementfassaden kann in der Regel das architektonische Erscheinungsbild an heutige Standards angepasst und die Gesamtbewertung der Immobilie erheblich gesteigert werden. Einschränkungen im Innenraum gibt es bis auf die beschriebene Reichweite der Geräte im Vergleich zu zentralen Systemen nahezu keine.

Neben der Gestaltungsfreiheit, die Elementfassaden bieten, ist durch den hohen Vorfertigungsgrad eine Sanierung im Betrieb möglich. Ein über einen gewissen Zeitraum andauernder Leerstand im Gebäude mit dem entsprechenden Kostenaufwand für Ersatzräume kann somit vermieden werden.

2.5. E²-Fassade von Schüco

Die Schüco E²-Fassade ist ein modulares energieeffizientes Gesamtsystem, das aus den folgenden vier Funktionsmodulen besteht:

- Öffnungselemente (Fenster)
- Sonnenschutz
- dezentrale Gebäudetechnik
- Solartechnik



Abbildung 4 Ansicht Schüco E²-Fassade (links)

Abbildung 5 Detail Schüco E²-Fassade (rechts)

Sie bietet eine innovative und energieoptimierte Verbindung von Fassaden- und Anlagentechnik und charakterisiert die Gebäudearchitektur. Mit den aufeinander abgestimmten Komponenten der Fassade kann eine wirtschaftliche Gesamtbilanz eines Gebäudes von der Entwicklungsphase über den kompletten Lebenszyklus positiv beeinflusst werden. Sowohl bei den Investitions- als auch bei den Betriebskosten können durch flexible Systemlösungen Einsparungen erzielt werden, z.B. bei der Klima- und Lüftungstechnik.

Eine langfristige Marktfähigkeit der Immobilie ist durch eine höhere Nutzungsflexibilität, eine Steigerung der Arbeitsplatzqualität und einer Verbesserung der Nutzerzufriedenheit gegeben.

Die E²-Fassade ermöglicht hohe Energieeffizienz und eine Steigerung des Nutzerkomforts. Durch die konsequente Automatisierung von Öffnungselementen, Sonnenschutz und dezentraler Lüftungstechnik kann die Fassade bei geringstem Bedienungsaufwand situations- und nutzergerecht arbeiten. Alle Systemantriebe können in die Gebäudeleittechnik eingebunden werden und lassen so eine intelligente zentrale oder dezentrale Ansteuerung der Fassadenmodule, z.B. bei automatischer Nachtauskühlung sowie individueller Fensteröffnung zu.

Im Folgenden werden die einzelnen Funktionsmodule genauer beschrieben:

Öffnungselemente

Die Fassade besteht aus einem geschosshohen Bauteil. Öffnungselemente mit großen Lüftungsquerschnitten, die als Senkklass- oder Parallel-Ausstell-Fenster realisiert werden, sind elektrisch zu bedienen und lassen die natürliche Lüftung zu. Der Systemantrieb lässt sich in die Gebäudetechnik einbinden und zentral bzw. dezentral ansteuern. Mit diesem Konzept können z.B. eine Nachtauskühlung, die individuelle Öffnung oder automatisierte Lüftung umgesetzt werden.

Gestalterisch bietet die identische Ansicht von Festverglasung und Öffnungselement größtmögliche Freiheit. Durch die verdeckte Lage der Flügelrahmen hinter den Pfosten- und Riegelprofilen sind alle begrenzenden Flächen bündig und homogen in der Gesamtansicht – bis hin zu annähernd beliebig gerasterten, geschosshohen Verglasungen möglich.



Abbildung 6 Fenster E²-Fassade

Die Vorteile auf einen Blick

- große Öffnungsquerschnitte für effiziente Lüftung: Senkklass-Fenster und Parallel-Ausstell-Fenster
- maximaler Komfort durch individuelle natürliche Lüftung
- intelligente Ansteuerung über Gebäudeleittechnik: Energieeinsparung in Kombination mit Nachtauskühlung
- ästhetisches Fassadendesign durch flächenbündige Profilintegration in das Pfosten-Riegel-Tragwerk und komplett verdeckt liegende Systemantriebe
- großdimensionierte Fensterkonstruktionen mit Flügelgewichten bis max. 250 kg

Sonnenschutz

Der außen liegende Sonnenschutz (CTB) besteht aus Mikro-Lamellen. Sie bieten einen optimalen Sonnen- und Blendschutz mit einer kompletten Abschattung bereits ab einer Sonnenhöhe von 20°. Das sorgt für maximale visuelle Behaglichkeit inklusive Durchsicht nach außen. In eingefahrenem Zustand liegt der Sonnenschutz nicht sichtbar, fassadenintegriert im opaken Bereich vor der Geschosstrenndecke und sorgt für eine flächenbündige Optik der Fassade. Der bei konventionellen Sonnenschutzanlagen vor die Fassade montierte Blendenkasten entfällt somit komplett.

Der Sonnenschutzbehang besitzt eine erhöhte Lamellenstabilität, so dass ein Ausfahren bei hohen Windgeschwindigkeiten bis 30 m/s möglich ist – Einsatz bei Hochhäusern. Das außen liegende System erreicht während der wärmeren Jahreszeiten eine Reduzierung der Kühllast für das Gebäude um rund 50 % und trägt somit zur Senkung der Betriebskosten bei.



Abbildung 7
Sonnenschutz E²-Fassade



Abbildung 8
Sonnenschutz E²-Fassade
Raumeindruck

Dezentrale Lüftung

Schon heute wird die Planung von Büroflächen maßgeblich durch folgende Punkte bestimmt: die immer anspruchsvollere Gesetzes-, Verordnungs- und Normenlage sowie die Erkenntnisse der Arbeitsplatzforschung. Diese hat einen eindeutigen Zusammenhang zwischen einem thermisch-klimatisch behaglichen Raumklima und der steigenden Leistungsfähigkeit sowie der Gesundheit der Raumnutzer



Abbildung 9
Dezentralgerät

nachgewiesen. Die Zufuhr von ausreichend Frischluft durch eine optimale Be- und Entlüftung, raumweise und an die individuellen Bedürfnisse angepasst, ist dabei ein zentraler Faktor.

Die positiven ökonomischen Effekte durch die gesteigerte Leistungsfähigkeit der Büronutzer erstrecken sich über die gesamte Nutzungszeit der Immobilie. Das bietet gewerblichen Nutzern einen erheblichen Mehrwert.

Bei der E²-Fassade sind die Komponenten für die dezentrale Gebäudetechnik mit den Funktionen Heizen, Kühlen und Lüften kompakt und für den Nutzer nicht sichtbar in das vor der Geschosstrenndecke liegende Technikmodul integriert. Hier ist auch der außen liegende Sonnenschutz eingebaut (s.o.), so dass geschosshohe Verglasungen realisiert werden können. Durch die Verkleinerung von z.B. Schacht- und Technikflächen und durch reduzierte Geschosshöhen bzw. die Verringerung der Gesamtbauhöhe eines Gebäudes bei gleicher Etagenzahl in Folge des Verzichts auf abgehängte Decken, kann die Ausnutzung der Fläche am Standort und im Gebäude deutlich erhöht werden. Das Ergebnis ist die Senkung der Rohbaukosten oder die Steigerung der Gesamtmietfläche und damit der Vermarktungserlöse durch die höhere Anzahl der Geschosse.

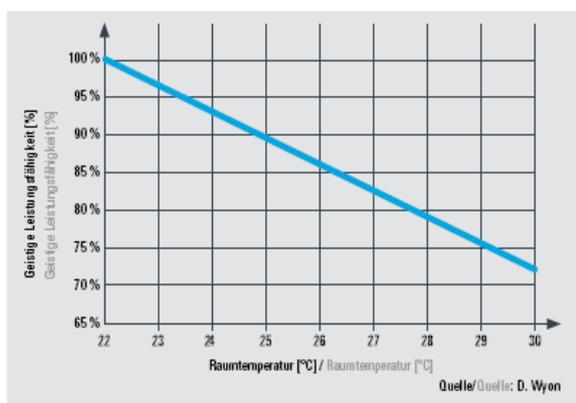


Abbildung 10 Abhängigkeit von geistige Leistungsfähigkeit und Raumtemperatur (links)

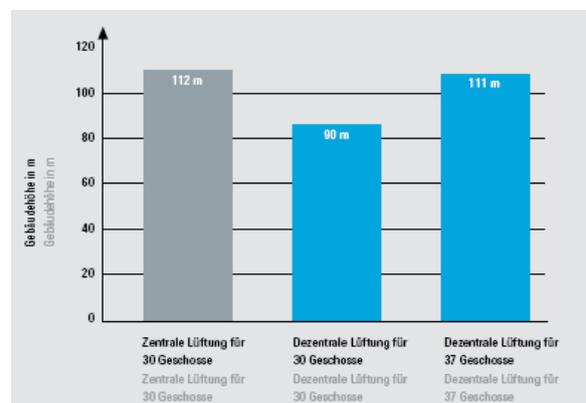


Abbildung 11 Gebäudehöhe und Geschoszahl bei zentraler und dezentraler Lüftung (rechts)

Quelle: ILK Dresden

Des Weiteren wird durch die dezentrale, individuelle Regelung in kleinen Nutzungseinheiten, z.B. raumweise unter Berücksichtigung wechselnder Nutzungszeiten und -kapazitäten, der Energieverbrauch auf den notwendigen Bedarf reduziert. Bei optimiertem Betrieb führt das zur deutlichen Senkung der Betriebskosten der Immobilie.

Nutzung erneuerbarer Energien, z.B. Photovoltaik

Durch den Einsatz von Photovoltaikmodulen in die Gebäudehülle wird die Fassade zum Energielieferanten. Hierzu können variabel Teilflächen oder geschosshohe Elemente eingesetzt werden, die in Form, Farbe und Struktur flexibel der Architektur folgen. Semitransparente Photovoltaikmodule übernehmen dabei sämtliche funktionale Eigenschaften einer konventionellen Verglasung.

Angesichts stetig steigender Energiepreise durch immer knapper werdende fossile Brennstoffe und wachsender Nachfrage wird die Solartechnik mit der Sonne als kostenloser, unerschöpflicher Energiequelle Bestandteil der Energieversorgung für die Zukunft. Dazu bieten die regenerativen Technologien eine Energiegewinnung ohne CO₂-Emissionen und liefern damit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz.

Mit der Integration von Photovoltaikmodulen verfügt die E²-Fassade über einen regenerativen Baustein zur solaren Stromgewinnung. Dabei erfüllen die Photovoltaikmodule alle Anforderungen eines herkömmlichen Fassadenelements bezüglich Wärmedämmung sowie Witterungs- und Schallschutz. Ebenso wie die Öffnungselemente werden die Photovoltaikmodule flächenbündig in das Tragwerk der E²-Fassade integriert – je nach Anforderung transluzent oder transparent.

Transluzente Module bieten Lösungen für alle blickdichten Fassadenbereiche wie z.B. Brüstungen. Mit transparenten Modulen lässt sich der Durchblick nach draußen bestimmen. Der damit erreichte Außenbezug ermöglicht zusammen mit der Lichtaufnahme über die gesamte Elementhöhe die geschosshohe Integration der Photovoltaikmodule.



Abbildung 12
PV-Integration

Solarzellen und Gläser bieten in puncto Größe, Format, Farbe, Struktur und Funktion eine breite Gestaltungs- und Ausführungspalette für eine individuelle, objektspezifische Fassadengestaltung.

2.6. Fassadenlüftungsgeräte von TROX

Das Fassadensystem integriert dezentrale Lüftungsgeräte der Firma TROX GmbH. Im Folgenden ist diese TGA-Komponente stichpunktartig beschrieben.

2.6.1. Dezentrales Unterflur- Zu- und Abluftgerät mit WRG (Typ: Schüco IFV 120 GH, Hersteller: TROX GmbH)

Das dezentrale Lüftungsgerät befindet sich in einer Bodenwanne in der Ebene der Geschossdecke und dient zur Belüftung mit konditionierter Außenluft und Entlüftung von Räumen.

Funktionsbeschreibung:

- Ansaugen der Außenluft über Fassadenöffnung mittels Zuluftventilator
- Filterung der Außenluft mit am Zuluftventilator saugseitig angeordnetem Feinstaubfilter
- Motorisch angesteuerte Absperrklappe, ist geschlossen bei ausgeschaltetem Lüftungsgerät oder Stromausfall
- Volumenstrombegrenzer begrenzt Zuluftvolumenstrom auf maximalen Wert (Verhinderung von Zugscheinungen)
- Vortemperierung der Außenluft im rekuperativen Wärmerückgewinner (Nutzung der Abluftwärme)
- Konditionierung der Außenluft im Wärmetauscher (für Heiz- und Kühlfall)
- Ausströmen der Zuluft durch Fußbodengitter in den Raum
- Ansaugen der Abluft in Fensternähe mittels Abluftventilator, Filterung mit am Ventilator saugseitig angeordnetem Grobstaubfilter, Führung durch den nachgeschalteten Wärmerückgewinner und Luftabführung durch eine Fassadenöffnung
- Motorisch gesteuerte Absperrklappe mit gleicher Funktion wie im Zuluftbereich
- Verhinderung von Luftrückströmungen in den Raum durch Rückschlagklappe
- Ansteuerung des Lüftungsgerätes mit einer im Gerät integrierten LON- busfähigen Einzelraumregelung möglich

Geräteaufbau und Funktionsschema:

Das Gerät besteht aus zwei Ventilatoren, zwei Filtern, einem selbsttätigen Maximalvolumenstrombegrenzer, einer Rückschlagklappe in der Fortluft, zwei motorischen Absperrklappen, einem Wärmerückgewinner, einem Wärmetauscher und der inneren Verkabelung. Das Gehäuse besteht aus lackiertem Stahlblech und ist mit glasseidenkaschierter Mineralwolle schall- und wärme gedämmt. Das Gerät kann mit einem Rollrost, Lineargitter o. ä. abgedeckt werden.

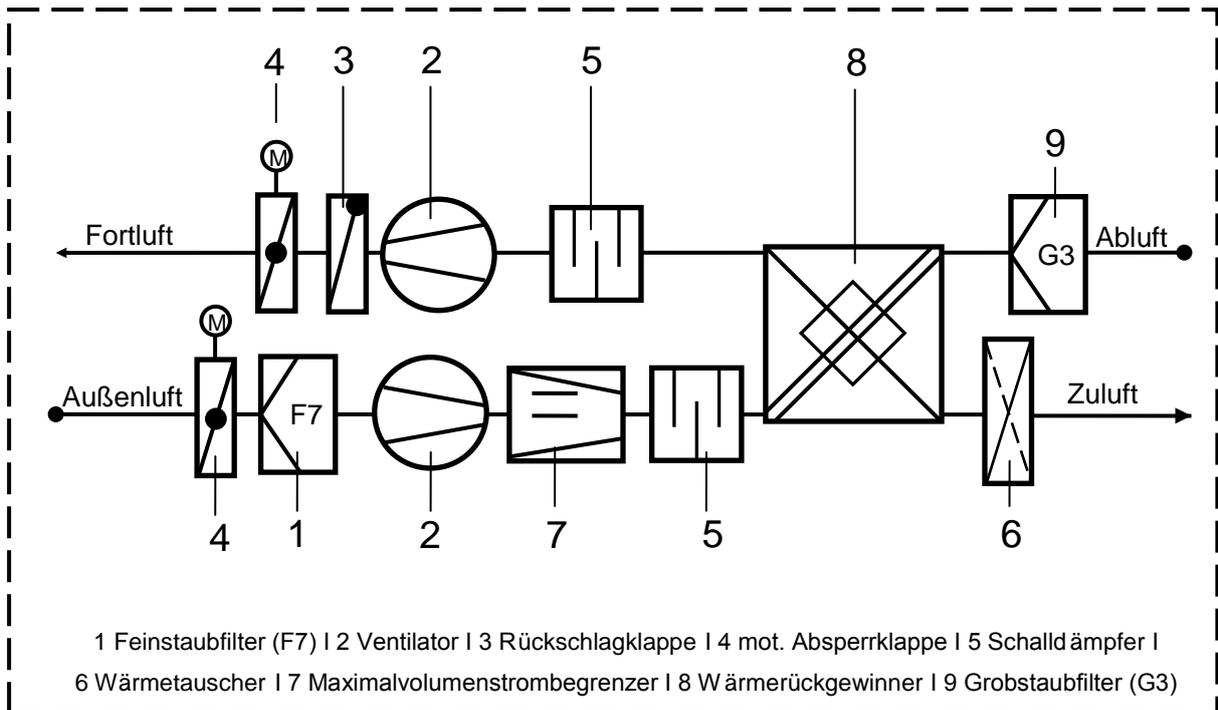


Abbildung 13 Lüftungstechnisches Schaltschema des Unterflurgerätes Schüco IFV 120 GH (Hersteller: TROX GmbH)

Technische Daten:

Beispielhafte technische Daten:

		Leistungs- stufe 1	Leistungs- stufe 2	Leistungs- stufe 3
Volumenstrom	m ³ /h	80	120	160
Kühlleistung gesamt	W	388	577	767
interne Kühlleistung	W	216	320	427
Außenlufttemperatur	°C	32,0	32,0	32,0
rel. Feuchte	%	40,0	40,0	40,0
Wassergehalt der tr. Luft	g/kg	11,9	11,9	11,9
Zulufttemperatur	°C	17,9	18,0	18,0
Kondensatmenge	g/h	0	0	0
Kaltwassermenge	l/h	66	132	200
Wassereintrittstemperatur	°C	16	16	16
Wasseraustrittstemperatur	°C	21,1	19,8	19,3
Druckverlust wasserseitig	kPa	0,6	1,2	2,7
Heizleistung gesamt	W	1400	1934	2314
interne Heizleistung	W	509	604	539

Außenlufttemperatur	°C	-12,0	-12,0	-12,0
Zulufttemperatur	°C	40,1	36,1	31,1
Warmwassermenge	l/h	90	162	200
Wassereintrittstemperatur	°C	60	60	60
Wasseraustrittstemperatur	°C	46,3	49,5	49,7
Druckverlust wasserseitig	kPa	2,1	6,4	9,1
Schallleistungspegel L _{w,a}	dB(A)	34,8	43,3	49,7
Schalldruckpegel inkl. 8dB Raumdämpfung	dB(A)	26,8	35,3	41,7
Spannungsversorgung	VAC	230	230	230
Stromaufnahme im Betrieb	A	0,1	0,17	0,33
Leistungsaufnahme im Betrieb	W	10	22	43

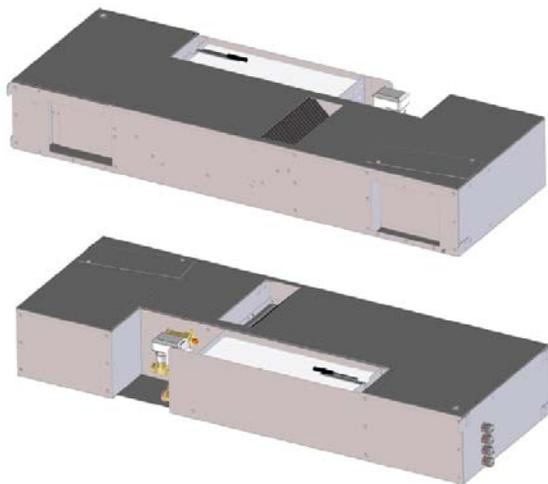
Tabelle 2 Technische Daten Schüco IFV 120 GH (Hersteller: TROX GmbH)

Randbedingungen:

- Außentemperatur Sommer / Winter 32°C / -12°C
- rel. Feuchte Außenluft Sommer / Winter 40 % / 50%

Alle Angaben ohne Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung!

Geräteansichten



Abmessungen:

Breite: 1150 mm (ohne Kabelverschraubungen)

Tiefe: 400 mm (ohne Befestigungen)

Höhe: 180 mm (ohne Gitter)

**Abbildung 14 oben: Ansicht von außen
unten: Ansicht von der Raumseite**

2.6.2. Dezentrales Unterflur- Zuluftgerät ohne WRG (Typ: Schüco IFV 120 GI, Hersteller: TROX GmbH)

Das dezentrale Lüftungsgerät befindet sich in einer Bodenwanne in der Ebene der Geschossdecke und dient zur Belüftung mit konditionierter Außenluft. Die Abluft wird entweder über ein weiteres dezentrales Lüftungsgerät im Deckenbereich abgeführt oder zentral abgesaugt.

Funktionsbeschreibung

- Ansaugen der Außenluft durch Fassadenöffnung mittels Zuluftventilator
- Filterung der Außenluft mit am Zuluftventilator saugseitig angeordnetem Feinstaubfilter
- Motorisch angesteuerte Absperrklappe ist geschlossen bei ausgeschaltetem Lüftungsgerät oder Stromausfall
- Volumenstrombegrenzer begrenzt Zuluftvolumenstrom auf maximalen Wert (Verhinderung von Zugscheinungen)
- Konditionierung der Außenluft im Wärmetauscher (für Heiz- und Kühlfall)
- Ausströmen der Zuluft durch Fußbodengitter in den Raum
- Ansteuerung des Lüftungsgerätes mit einer im Gerät integrierten LON- busfähigen Einzelraumregelung möglich

Geräteaufbau und Funktionsschema

Das Gerät besteht aus einem Ventilator, einem Filter, einem selbsttätigen Maximalvolumenstrombegrenzer, einer motorischen Absperrklappe, einem Wärmetauscher und der inneren Verkabelung. Das Gehäuse besteht aus lackiertem Stahlblech und ist mit glasseidenkaschierter Mineralwolle schall- und wärme gedämmt. Das Gerät kann mit einem Rollrost, Lineargitter o. ä. abgedeckt werden.

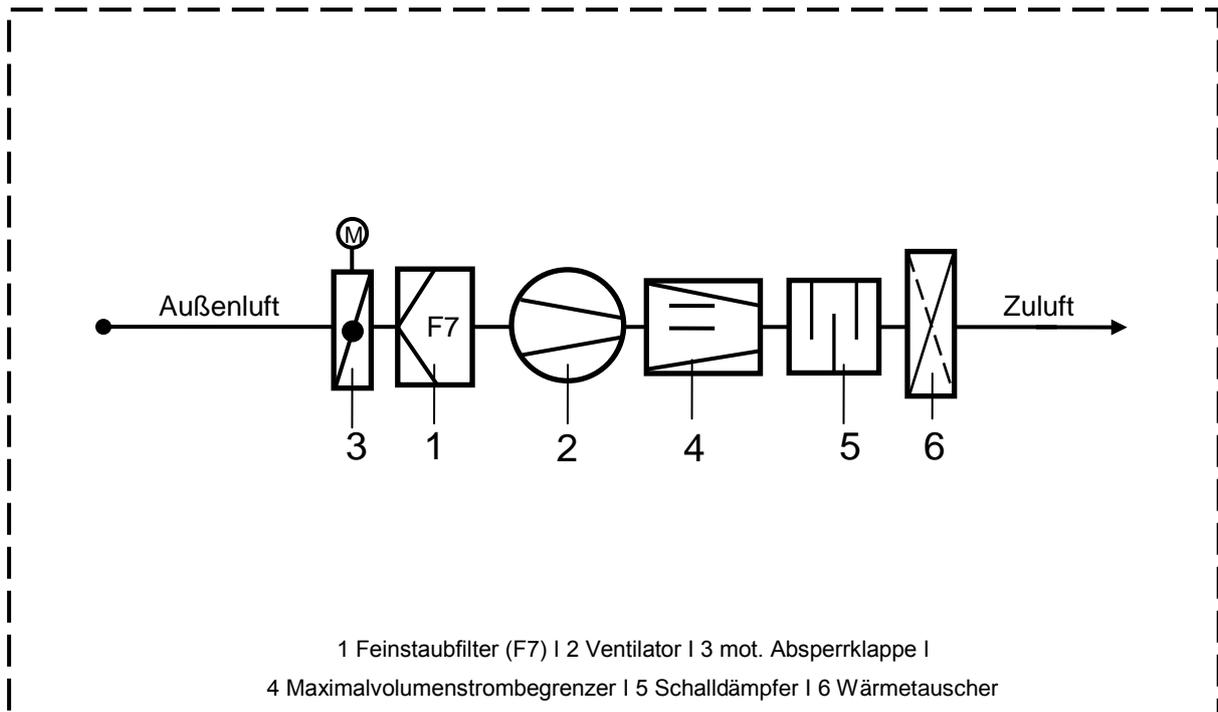


Abbildung 15 Lüftungstechnisches Schaltschema des Unterflurgerätes Schüco IFV 120 GI (Hersteller: TROX GmbH)

Technische Daten

Beispielhafte technische Daten:

		Leistungs- stufe 1	Leistungs- stufe 2	Leistungs- stufe 3
Volumenstrom	m ³ /h	80	120	160
Kühlleistung gesamt	W	388	577	767
interne Kühlleistung	W	216	320	427
Außenlufttemperatur	°C	32,0	32,0	32,0
rel. Feuchte	%	40,0	40,0	40,0
Wassergehalt der tr. Luft	g/kg	11,9	11,9	11,9
Zulufttemperatur	°C	17,9	18,0	18,0
Kondensatmenge	g/h	0	0	0
Kaltwassermenge	l/h	66	132	200
Wassereintrittstemperatur	°C	16	16	16
Wasseraustrittstemperatur	°C	21,1	19,8	19,3
Druckverlust wasserseitig	kPa	0,6	1,2	2,7
Heizleistung gesamt	W	1400	1934	2314
interne Heizleistung	W	509	604	539

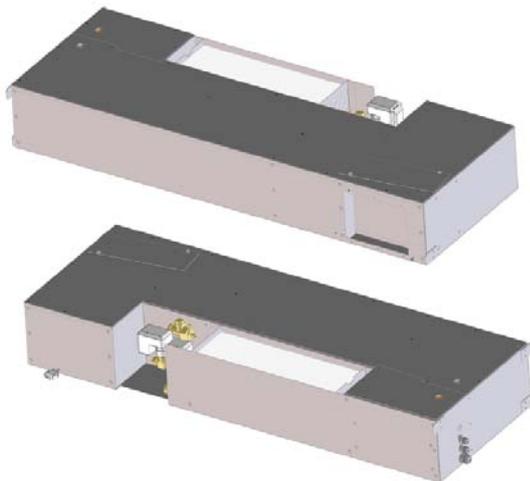
Außenlufttemperatur	°C	-12,0	-12,0	-12,0
Zulufttemperatur	°C	40,1	36,1	31,1
Warmwassermenge	l/h	90	162	200
Wassereintrittstemperatur	°C	60	60	60
Wasseraustrittstemperatur	°C	46,3	49,5	49,7
Druckverlust wasserseitig	kPa	2,1	6,4	9,1
Schallleistungspegel L _{w,a}	dB(A)	33,5	43,0	48,0
Schalldruckpegel inkl. 8dB Raumdämpfung	dB(A)	25,5	35,0	40,0
Spannungsversorgung	VAC	230	230	230
Stromaufnahme im Betrieb	A	0,06	0,1	0,15
Leistungsaufnahme im Betrieb	W	6	12	21

Tabelle 3 Technische Daten Schüco IFV 120 GI (Hersteller: TROX GmbH)

Randbedingungen:

- Außentemperatur Sommer / Winter 32°C / -12°C
- rel. Feuchte Außenluft Sommer / Winter 40 % / 50%

Geräteansichten



Abmessungen:

Breite: 1150 mm (ohne Kabelverschraubungen)

Tiefe: 400 mm (ohne Befestigungen)

Höhe: 180 mm (ohne Gitter)

**Abbildung 16 oben: Ansicht von außen
unten: Ansicht von der Raumseite**

2.6.3. Unterdecken- Abluftgerät (Typ: Schüco IFV 120 CE, Hersteller: TROX GmbH)

Das dezentrale Lüftungsgerät befindet sich im fassadennahen Deckenbereich und dient zur Entlüftung von Räumen.

Funktionsbeschreibung

- Absaugung der Abluft mittels Abluftventilator im Deckengerät und Luftabführung durch Fassadenöffnung
- Motorisch angesteuerte Absperrklappe ist geschlossen bei ausgeschaltetem Lüftungsgerät und Stromausfall, auch wenn Druck oder Sog auf der Fassade anliegt
- Verhinderung von Luftrückströmungen in den Raum durch Rückschlagklappe

Geräteaufbau und Funktionsschema

Das Gerät besteht aus einem Ventilator, einer Rückschlagklappe, einer motorischen Absperrklappe und der inneren Verkabelung. Das Gehäuse ist aus lackiertem Stahlblech und mit glasseidenkaschierter Mineralwolle schall- und wärmegeämmt.

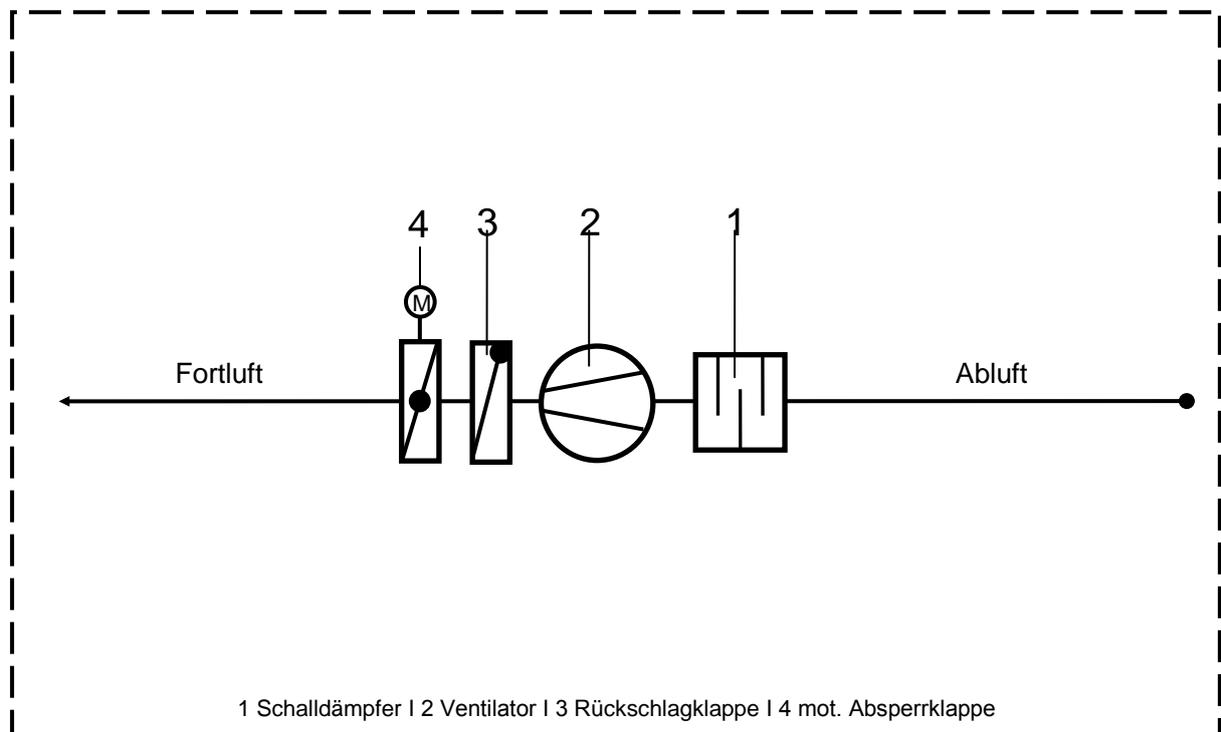


Abbildung 17 Lüftungstechnisches Schaltschema des Unterdeckengerätes Schüco IFV 120 CE (Hersteller: TROX GmbH)

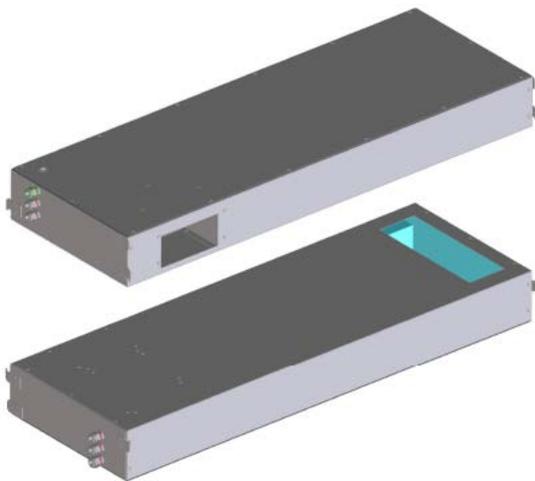
Technische Daten

Beispielhafte technische Daten:

		Leistungs- stufe 1	Leistungs- stufe 2	Leistungs- stufe 3
Volumenstrom	m ³ /h	80	120	160
Schalleistungspegel L _{w,a}	dB(A)	28,8	38,7	46,3
Schalldruckpegel inkl. 8dB Raumdämpfung	dB(A)	20,8	30,7	38,3
Spannungsversorgung	VAC	230	230	230
Stromaufnahme im Betrieb	A	0,06	0,1	0,13
Leistungsaufnahme im Betrieb	W	6	10	17

Tabelle 4 Technische Daten Schüco IFV 120 CE (Hersteller: TROX GmbH)

Geräteansichten



Abmessungen:

Breite: 1150 mm (ohne Kabelverschraubungen)

Tiefe: 400 mm (ohne Befestigungen)

Höhe: 130 mm (ohne Schlitzauslass)

Abbildung 18 oben: Ansicht von außen
unten: Ansicht von unten

2.6.4. Dezentrales Decken- Zu- und Abluftgerät mit WRG und Bypass (Typ: Schüco IFV 120 CB, Hersteller: TROX GmbH)

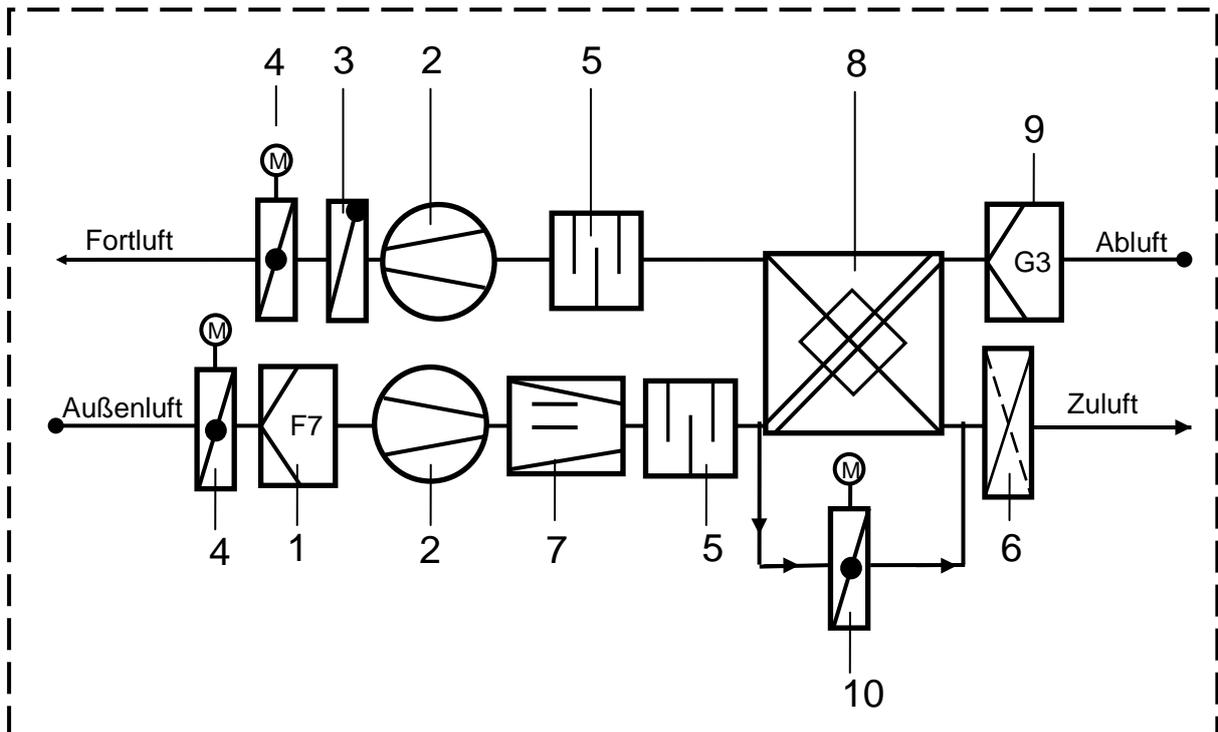
Das dezentrale Lüftungsgerät befindet sich im fassadennahen Deckenbereich und dient zur Belüftung mit konditionierter Außenluft und Entlüftung von Räumen.

Funktionsbeschreibung

- Ansaugen der Außenluft durch Fassadenöffnung mittels Zuluftventilator
- Filterung der Außenluft mit am Zuluftventilator saugseitig angeordnetem Feinstaubfilter
- Motorisch angesteuerte Absperrklappe ist geschlossen bei ausgeschaltetem Lüftungsgerät und Stromausfall
- Volumenstrombegrenzer begrenzt Zuluftvolumenstrom auf maximalen Wert (Verhinderung von Zugerscheinungen)
- Vortemperierung der Außenluft im rekuperativen Wärmerückgewinner (Nutzung der Abluftwärme)
- Bypassklappe ermöglicht Umgehung des Wärmerückgewinners bei extrem niedrigen Außentemperaturen (Schutz gegen Einfrieren des Wärmerückgewinners) und in der Übergangszeit (Freies Heizen / Kühlen)
- Konditionierung der Außenluft im Wärmetauscher (für Heiz- und Kühlfall)
- Ausströmen der Zuluft durch Schlitzauslass in den Raum
- Ansaugen der Abluft mittels Abluftventilator durch einen Schlitzauslass, Führung durch nachgeschalteten Wärmerückgewinner und Luftabführung durch eine Fassadenöffnung
- Motorisch gesteuerte Absperrklappe mit gleicher Funktion wie im Zuluftbereich
- Verhinderung von Luftrückströmungen in den Raum durch Rückschlagklappe
- Ansteuerung des Lüftungsgerätes mit einer im Gerät integrierten LON- busfähigen Einzelraumregelung möglich

Geräteaufbau und Funktionsschema

Das Gerät besteht aus zwei Ventilatoren, einem Filter in der Außenluft, einem selbsttätigen Maximalvolumenstrombegrenzer, einer Rückschlagklappe in der Fortluft, zwei motorischen Absperrklappen, einem Wärmerückgewinner, einer motorischen Bypassklappe, einem Wärmetauscher und der inneren Verkabelung. Das Gehäuse besteht aus lackiertem Stahlblech und ist mit glasseidenkaschierter Mineralwolle schall- und wärmegeklämt.



1 Feinstaubfilter (F7) | 2 Ventilator | 3 Rückschlagklappe | 4 mot. Absperrklappe | 5 Schalldämpfer |
 6 Wärmetauscher | 7 Maximalvolumenstrombegrenzer | 8 Wärmerückgewinner | 9 Grobstaubfilter (G3)
 | 10 Motorische Bypassklappe

Abbildung 19 Lüftungstechnisches Schaltschema des Unterdeckengerätes Schüco IFV 120 CB (Hersteller: TROX GmbH)

Technische Daten

Beispielhafte technische Daten:

		Leistungs- stufe 1	Leistungs- stufe 2	Leistungs- stufe 3
Volumenstrom	m ³ /h	80	120	160
Kühlleistung gesamt	W	388	577	767
interne Kühlleistung	W	216	320	427
Außenlufttemperatur	°C	32,0	32,0	32,0
rel. Feuchte	%	40,0	40,0	40,0
Wassergehalt der tr. Luft	g/kg	11,9	11,9	11,9
Zulufttemperatur	°C	17,9	18,0	18,0
Kondensatmenge	g/h	0	0	0
Kaltwassermenge	l/h	66	132	200
Wassereintrittstemperatur	°C	16	16	16
Wasseraustrittstemperatur	°C	21,1	19,8	19,3
Druckverlust wasserseitig	kPa	0,6	1,2	2,7

Heizleistung gesamt	W	1400	1934	2314
interne Heizleistung	W	509	604	539
Außenlufttemperatur	°C	-12,0	-12,0	-12,0
Zulufttemperatur	°C	40,1	36,1	31,1
Warmwassermenge	l/h	90	162	200
Wassereintrittstemperatur	°C	60	60	60
Wasseraustrittstemperatur	°C	46,3	49,5	49,7
Druckverlust wasserseitig	kPa	2,1	6,4	9,1
Schallleistungspegel Lw,a	dB(A)	31,6	40,0	46,1
Schalldruckpegel inkl. 8dB Raumdämpfung	dB(A)	23,6	32,0	38,1
Spannungsversorgung	VAC	230	230	230
Stromaufnahme im Betrieb	A	0,10	0,18	0,31
Leistungsaufnahme im Betrieb	W	10	21	50

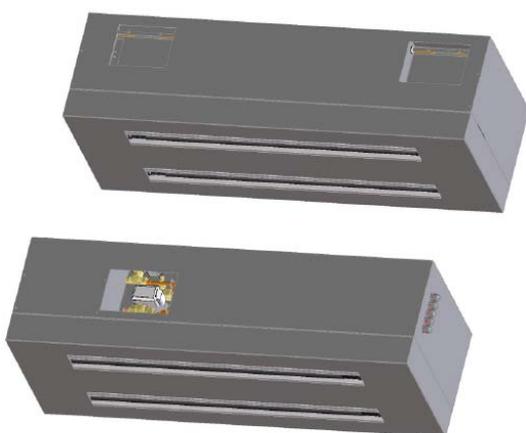
Tabelle 5 Technische Daten Schüco IFV 120 CB (Hersteller: TROX GmbH)

Randbedingungen:

- Außentemperatur Sommer / Winter 32°C / -12°C
- rel. Feuchte Außenluft Sommer / Winter 40 % / 50%

Alle Angaben ohne Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung!

Geräteansichten



Abmessungen:

Breite: 1150 mm (ohne Kabelverschraubungen)

Tiefe: 400 mm (ohne Befestigungen)

Höhe: 250 mm (ohne Schlitzauslass)

**Abbildung 20 oben: Ansicht von außen
unten: Ansicht von der Raumseite**

Kapitel 3

Entwicklung der Musterfassade

3. ENTWICKLUNG DER MUSTERFASSADE

3.1. Aufbau der Klimakammer

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird eine Musterfassade im Maßstab 1:1 nachgebaut und in einer Klimakammer vermessen. Untersucht werden die in Kapitel 2 beschriebenen Lüftungsgeräte hinsichtlich Eignung zur Gewährleistung eines behaglichen Raumklimas. Dazu wird die Leistungsfähigkeit bzw. das Leistungsspektrum der dezentralen Geräte bei verschiedenen Randbedingungen analysiert und bewertet. Der schematische Versuchsaufbau ist in Abbildung 23 dargestellt. Die Messungen der entwickelten Musterfassade werden in der Doppel-Klimakammer des Instituts für Gebäude- und Solartechnik der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt.

Zur Abbildung des Versuchs wird die Klimakammer zweigeteilt. Die Warmseite entspricht dem nachgestellten Büroraum, auf der Kaltseite wird das Außenklima simuliert. Die Wandaufbauten der Klimakammer sind aus Holz ausgeführt. Die inneren Abmessungen der gesamten Klimakammer betragen 3,47 m x 4,52 m x 2,87 m (B x L x H). Das Volumen entspricht damit etwa 45 m³. Die U-Werte der Wandaufbauten sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Die Umgebungsbedingungen der Klimakammer im Labor des IGS entsprechen einer Raumtemperatur.

Bauteil	U-Wert [W/(m ² ·K)]
Wand	0,27
Fußboden	0,25
Decke	0,25

Tabelle 6 U-Werte der Wandaufbauten der Warmseite der Klimakammer



Abbildung 21 Klimakammer: Außenaufnahme



Abbildung 22 Klimakammer: Innenaufnahme

Über eine Kältemaschine, die in den Räumlichkeiten des Labors installiert ist, kann in einem abgetrennten Bereich, der Kaltseite der Klimakammer, ein vorgegebenes Außenklima eingestellt werden. Mittels in die Klimakammer installierter Messtechnik sowohl auf der Warm- als auch auf der Kaltseite werden die Messwerte, die bei der Untersuchung von Bedeutung sind, erfasst.

In Kapitel 4 – Messkonzept werden die zum Einsatz kommenden Messfühler und deren Lage genau beschrieben.

3.2. Einbau des Fassadenprüfmusters in der Klimakammer

In die Klimakammer des Instituts ist zusammen mit den Kooperationspartnern ein Fassadenprüfmuster installiert, das bauphysikalisch und gebäudetechnisch der von der Fa. Schüco entwickelten E²-Fassade entspricht. Diese raumhohe Fassade mit Parallel-Ausstellfenster, Sonnenschutz und integrierter dezentraler Technik teilt den Raum in zwei Bereiche: einen simulierten Außen- und einen mit Messtechnik ausgestatteten Innenbereich.

In der folgenden Abbildung ist der schematische Versuchsaufbau in der Klimakammer dargestellt. Die Bauteilanschlüsse der zu untersuchenden Fassade an die Klimakammer sind luftdicht ausgeführt. Eine Flankenübertragung kann vernachlässigt werden.

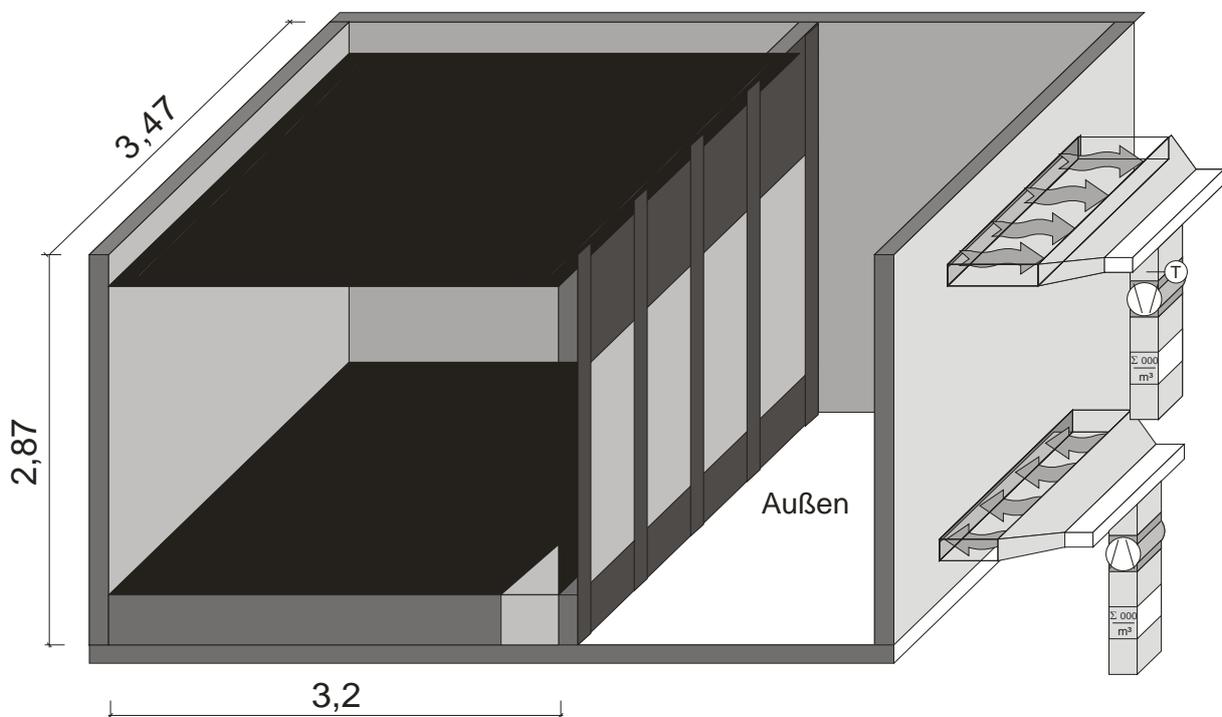


Abbildung 23 schematischer Versuchsaufbau in der Klimakammer



Abbildung 24 Einbau der Wanne für Deckengerät (links)



Abbildung 25 Einbau der Wanne für Unterflurgerät (rechts)

Der mit Messtechnik ausgestattete Innenraum hat eine Fläche von etwa 11 m² und eine lichte Höhe von 2,87 m. Auf der Kaltseite der Klimakammer wird mit Hilfe der vorhandenen Technik der Kühl- bzw. der Sommerfall simuliert.

Um das Büro im Betrieb abzubilden, wird im Raum eine interne thermische Last von 160 Watt (entspricht etwa der Wärmeabgabe von zwei Personen) und eine relative Raumluftfeuchte mit Hilfe eines Dampfbefeuchters von ca. 40 % eingestellt.

Das „Büro“ soll im Winter mittels dezentraler Unterflur- und/oder Deckenlüftungsgeräten der Fa. TROX mechanisch belüftet und beheizt und im Sommer mechanisch belüftet und gekühlt werden.

Die Untersuchungen an der Fassade sehen für den Sommer- und für den Winterfall bestimmte Randbedingungen vor, die im folgenden Kapitel beschrieben werden. Ziel der durchzuführenden Messreihen, die für unterschiedliche Lüftungsvarianten durchgeführt werden, ist das Aufzeigen der Gewährleistung eines behaglichen Raumklimas bei der Verwendung von dezentraler Technik.

Bei den dezentralen Lüftungsgeräten handelt es sich zum Zeitpunkt der Messung um Prototypen, die im Folgenden hinsichtlich des Betriebsverhaltens für den Heiz- und Kühlfall in der Klimakammer untersucht werden. Je nach Einbauvariante sind die Lüftungsgeräte im Doppelboden bzw. in die Zwischendecke eingesetzt. Die Zu- und Fortluftführung erfolgt über die Außenfassade, die im Versuchsaufbau nachgestellt wird.

Für die Ermittlung der Messergebnisse werden Messfühler am Gerät und im simulierten Außen- und Innenbereich der Klimakammer montiert, sowie Verknüpfung aller Messfühler mit den Auswerte- und Kontrolleinheiten hergestellt. Genauere Informationen zur verwendeten Messtechnik und den technischen Gegebenheiten sind dem Kapitel 4 – Messkonzept zu entnehmen.

3.3. Lüftungsvarianten

Bei dem Fassadenprüfmuster werden in der Klimakammer drei Lüftungsvarianten über einen bestimmten Zeitraum untersucht. Bei den Varianten handelt es sich um:

- Lüftungsvariante 1: Unterflurlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (vgl. 2.6.1.: Schüco IFV 120 GH)
- Lüftungsvariante 2: Unterflurlüftungsgerät und Unterdeckenlüftungsgerät (vgl. 2.6.2. und 2.6.3.: Schüco IFV 120 GI und Schüco IFV 120 CE)
- Lüftungsvariante 3: Unterdeckenlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Bypass (vgl. 2.6.4.: Schüco IFV 120 CB)

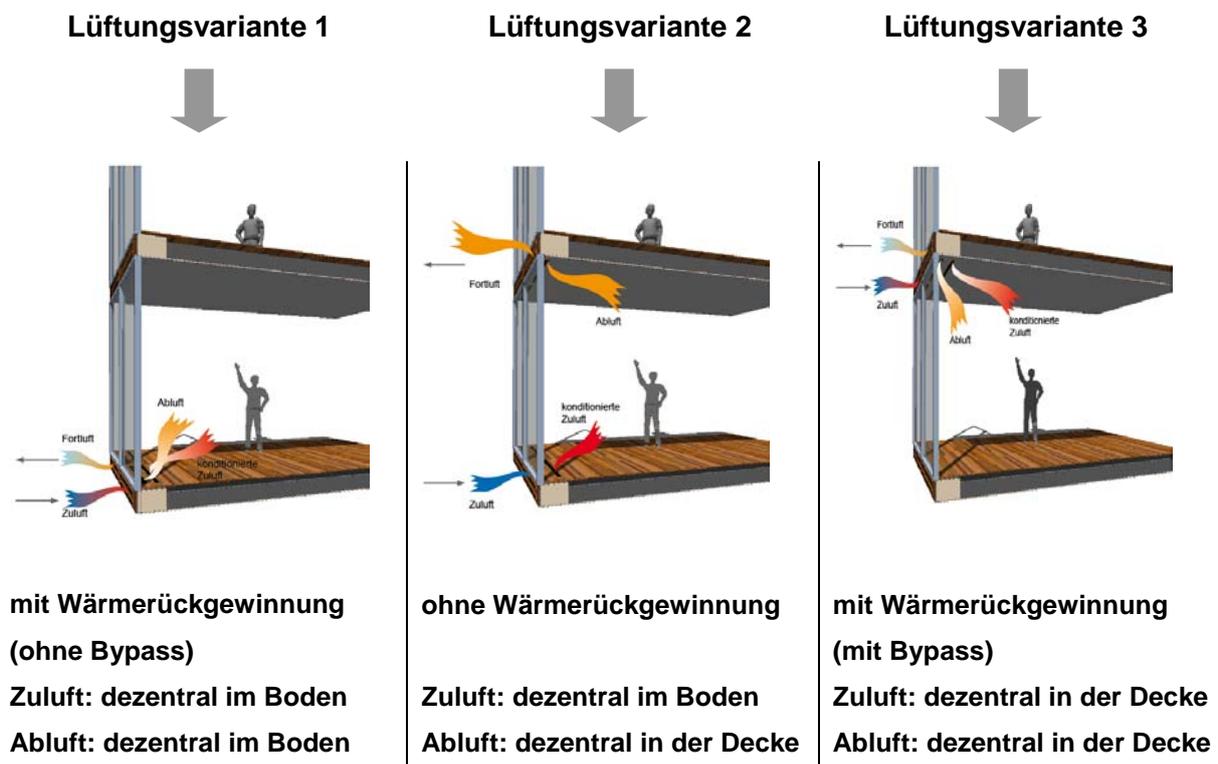


Abbildung 26 Unterflurlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (links)

Abbildung 27 Unterflurlüftungsgerät und Unterdeckenlüftungsgerät (Mitte)

Abbildung 28 Unterdeckenlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Bypass (rechts)

3.4. Außenluftbedingungen und Raumlufthemperatur

Das Betriebsverhalten der dezentralen Lüftungsgeräte wird hinsichtlich der Einhaltung der Raumsolltemperatur von 20°C gemäß dem gewünschten Nutzungsprofil für Büroräume der DIN V 18599 bei unterschiedlichen Außenbedingungen und bei den Gerätelüfterstufen 1-3 (Volumenstrom: 80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h) vermessen. Für die Geräteserie wurde bei der Fa. TROX GmbH ein Volumenstrom von 160 m³/h gewählt.

Folgende Außenlufttemperaturen werden im Kaltbereich der Klimakammer simuliert:

- Heizfall: **-10°C, -5°C und 0°C**
- Kühlfall: **26°C, 29°C und 32°C**

Die Messzeit beträgt je nach Leistungsstufe für die gewählten Temperaturen des Heiz- und Kühlfalls eine Stunde. Die Messwerte werden in einem Intervall von 10 Sekunden erfasst, um eine bessere Genauigkeit zu erzielen. Im Kühlfall wird der Kaltbereich der Klimakammer befeuchtet, um realistische klimatische Verhältnisse zu erreichen.

Kapitel 4

Messkonzept

4. MESSKONZEPT

4.1. Messdaten und Anordnung der Messpunkte

Zur Bestimmung von für das Forschungsprojekt „Interface“ relevanten Messgrößen werden verschiedene Messfühler in der Klimakammer installiert. Sowohl im simulierten Kaltbereich der Klimakammer, als auch im Innenraum sind Messeinrichtungen aufgestellt, die zusammen mit den Auswertegeräten direkt am dezentralen Lüftungsgerät wichtige Informationen zur Erfassung folgender Messdaten liefern:

- Wasservolumenstrom
- Luftvolumenstrom
- Vorlauf- und Rücklauftemperatur
- Lufttemperatur
- Globale Temperatur
- relative Luftfeuchte
- Luftgeschwindigkeit
- Leistung und Drehzahl der Ventilatoren
- Schalldruckpegel

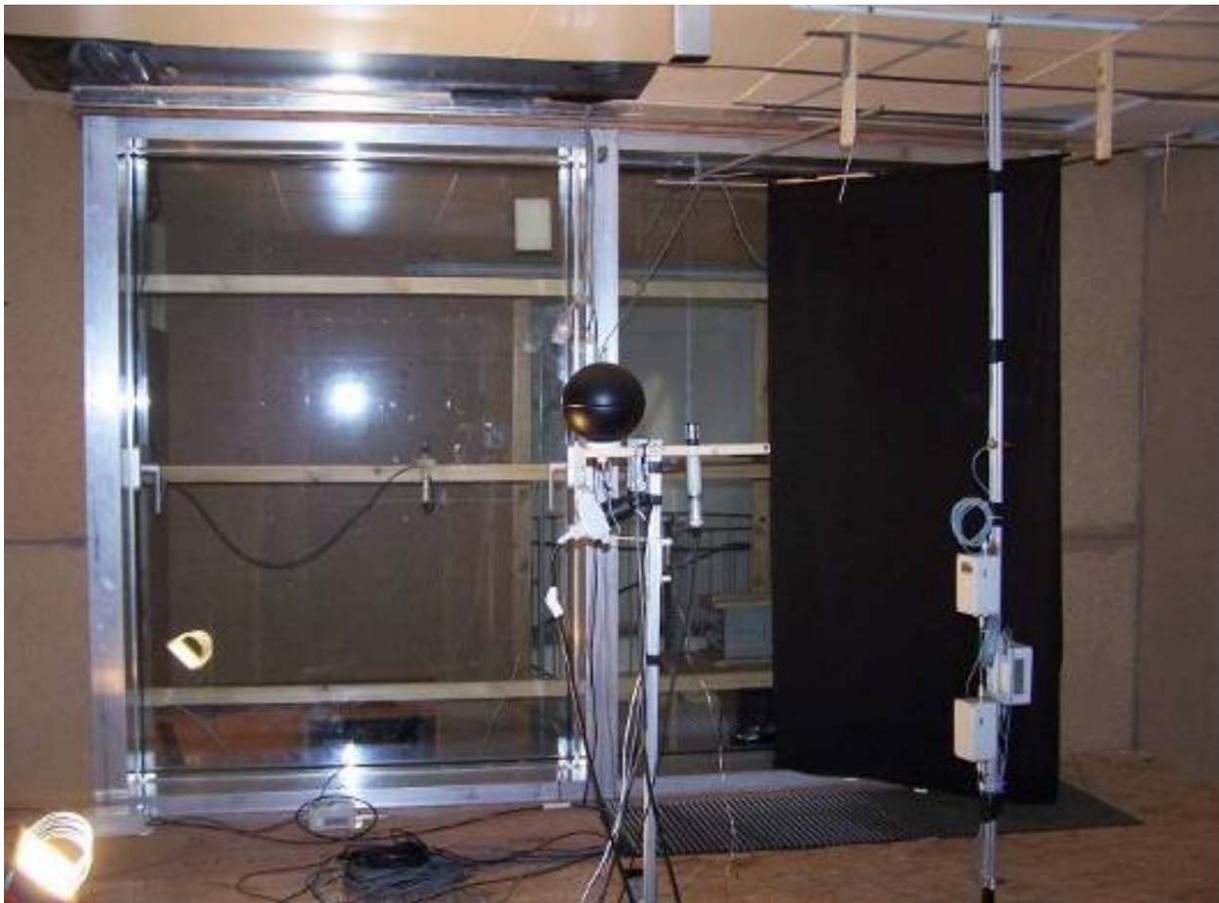


Abbildung 29 Anordnung der Messfühler und -einheiten im Innenraum der Klimakammer (Warmseite)

In der folgenden Tabelle sind Angaben zu den Messdaten und zur Anordnung der installierten Messfühler in der Klimakammer gemacht.

Messungen an der Fassade	
- Temperatur außen	unten an der Glasscheibe oben an der Glasscheibe
- Temperatur innen	unten an der rechten Glasscheibe oben an der rechten Glasscheibe unten an der linken Glasscheibe mittig am Fassadenprofil
Messungen im Raum	
- Temperatur	in 0,10 m Raumhöhe in 1,10 m Raumhöhe in 1,80 m Raumhöhe
- operative Temperatur	
- relative Feuchte	
- Luftgeschwindigkeit	
- Schalldruckpegel	
Messungen außen	
- Temperatur	
- relative Feuchte	
- Luftgeschwindigkeit	
- Schalldruckpegel	
Messungen am Konvektor	
außen	Außenluft: Temperatur, relative Feuchte Fortluft: Temperatur, relative Feuchte
innen	Zuluft: Temperatur, relative Feuchte Abluft: Temperatur, relative Feuchte
- Vorlauftemperatur	
- Rücklauftemperatur	
- Wasservolumenstrom	
- Luftvolumenstrom	
- elektrische Leistungsaufnahme Ventilator/ Ventilatoren	

Tabelle 7 Anordnung der Messtechnik

In Abbildung 30 ist ein Längsschnitt der Klimakammer gezeigt, in dem die genaue Lage der verschiedenen Messfühler dargestellt ist.

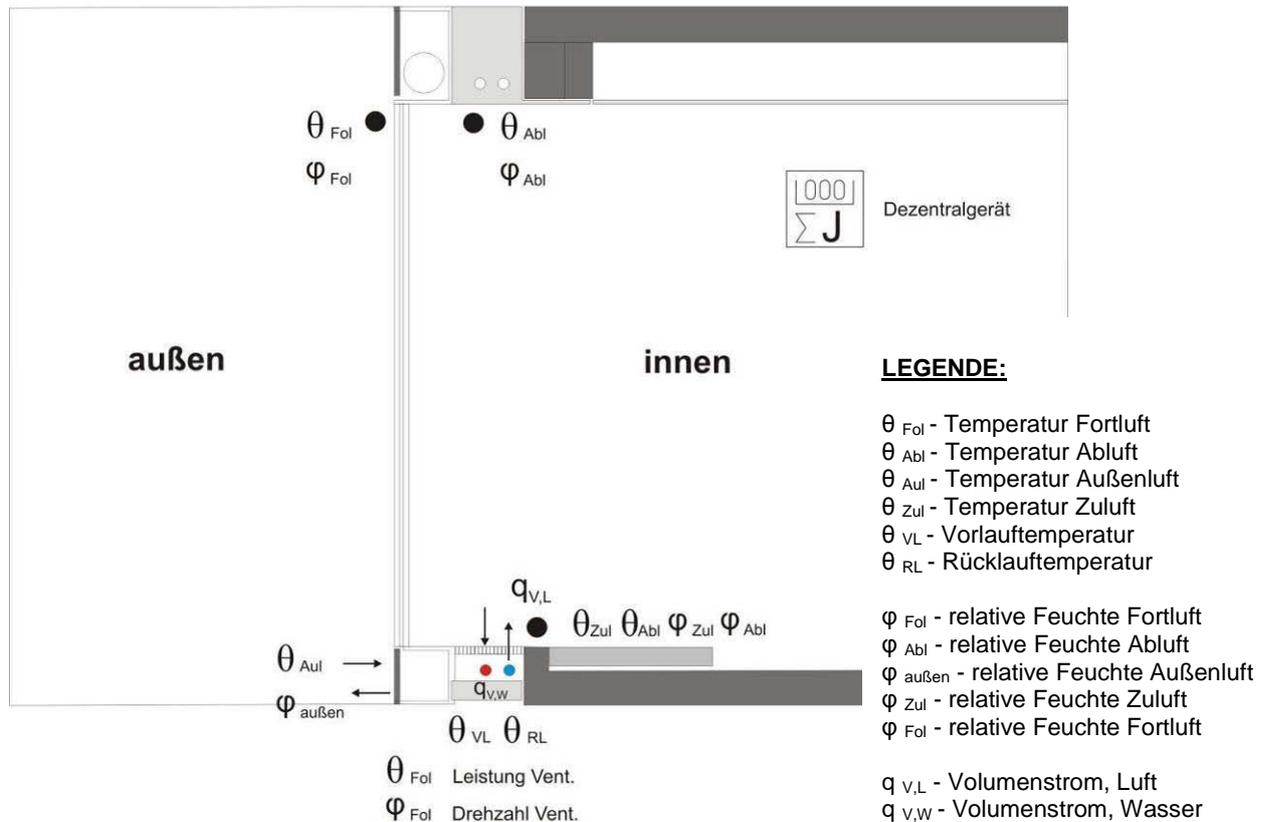


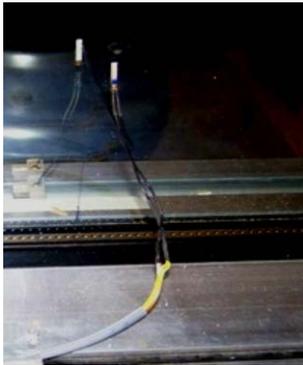
Abbildung 30 Querschnitt Klimakammer mit Messfühleranordnung
Schnitt Klimakammer: schematische Darstellung

4.2. Messtechnik

Neben den beschriebenen technischen Gegebenheiten der Klimakammer stehen Geräte zur Messdatenaufnahme und -erfassung zur Verfügung. Die Einstellung der Messparameter, sowohl auf der Rauminnen-/ Warmseite, als auch auf der simulierten Außen-/ Kaltseite in der Klimakammer, erfolgt zentral über einen technischen Zugriff auf die entsprechenden Geräte.

Die Datenerfassung der beschriebenen Messfühler erfolgt durch die in Tabelle 8 dargestellten Geräte:

Ermittlung der Temperatur



linkes Bild
PT100 Temperaturmessfühler
mit 4-Leiteranschluss,
1/5 DIN (Genauigkeitsklasse)

rechtes Bild
PT100 Temperaturfühler
mit Strahlungsschutz

Ermittlung der relativen Feuchte



kapazitiver Feuchtefühler,
Fa. Ahlborn

Ermittlung der Luftgeschwindigkeit



linkes Bild
Hitzdrahtfühler
Messbereich 0...5m/s,
Fa. Schiltknecht

rechtes Bild
Auswerteeinheit für
Hitzdrahtfühler

Ermittlung der Steuerspannung und der elektrischen Ventilatorleistung



linkes Bild
LSP- Konstanter 32K

rechtes Bild
„Power Hitester 3330“, Fa. Hioki

Ermittlung des Wasservolumenstroms und Regelung der Raumtemperatur	
	<p>linkes Bild magnetisch- induktiver Durchflusszähler Fa. Krohne</p> <p>rechtes Bild Thermostatventil mit Fernfühler</p>
Ermittlung des Schalldruckpegels und Darstellung von Infrarotaufnahmen	
	<p>linkes Bild Schallpegelmesser Fa. Norsonik Typ 118</p> <p>rechtes Bild Varioscan compact 3011</p>
Auswertung aller Messdaten	
	<p>Messdatenerfassungsgerät „Almemo 5690-2“, Fa. Ahlborn</p>

Tabelle 8 **Verwendete Messtechnik in der Klimakammer**

4.3. Thermische Behaglichkeit und Messgrößen

Die thermische Behaglichkeit, die eine Basisgröße für körperliches und geistiges Leistungsvermögen ist, wird aus verschiedenen physikalischen Größen bestimmt.

So wird z.B. zur Bewertung einer Abkühlung infolge Zugluft nach DIN EN ISO 7730:2006 aus den Parametern Lufttemperatur, mittlere Luftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad ein prozentualer Anteil Unzufriedener ermittelt. Strahlungsasymmetrie zwischen gegenüberliegenden Bauteiloberflächen verursacht durch warme bzw. kalte Decken oder Wände kann thermische Unbehaglichkeit hervorrufen. Der Temperaturgradient bzw. die Temperaturschichtung beschreibt den Unterschied zwischen der Lufttemperatur am Boden

(0,1m über dem Boden) und auf Körperhöhe (1,1 m). Darüber hinaus werden weitere Größen berechnet bzw. abgeleitet:

PMV - Predicted Mean Vote

PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied

Aus den gemessenen Größen kann der PMV-Index (Predicted Mean Vote, PMV-Index) ermittelt werden, der eine Vorhersage über das zu erwartende mittlere Votum zur thermischen Behaglichkeit erlaubt. Grundlage der Berechnung sind experimentelle Untersuchungen in verschiedenen Raumklimaten und entsprechende statistische Auswertungen. Der PMV-Index wird auf einer 7-Punkte Skala von -3 bis +3 nach ASHRAE bewertet, siehe Abbildung 31.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
kalt	kühl	etwas kühl	neutral	etwas warm	warm	heiß

Abbildung 31 Klassifizierung der Raumtemperatur nach DIN EN ISO 7730:2006

Aus den gemessenen physikalischen Größen kann auch ein Prozentsatz Unzufriedener Nutzer berechnet werden – der „PPD- Index“ (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD-Index). Über den PPD lässt sich der thermische Raumkomfort bewerten. Als Maßstab für die Bewertung werden die normierten Grenzwerte nach DIN EN ISO 7730:2006 verwendet.

Die Bewertung erfolgt in Anlehnung an DIN EN ISO 7730:2006 über die Bildung von Kategorien (A, B, C) wie in Abbildung 32 dargestellt.

A	Grün:	Guter Komfort, keine Probleme.
B	Gelb:	Akzeptabler Komfort, keine signifikanten Einschränkungen.
C	Rot:	Leicht eingeschränkter Komfort, geringe Überschreitung von Grenzwerten.
	Grau:	Nicht akzeptabel

Abbildung 32 Kategorie des Komfort-Monitoring

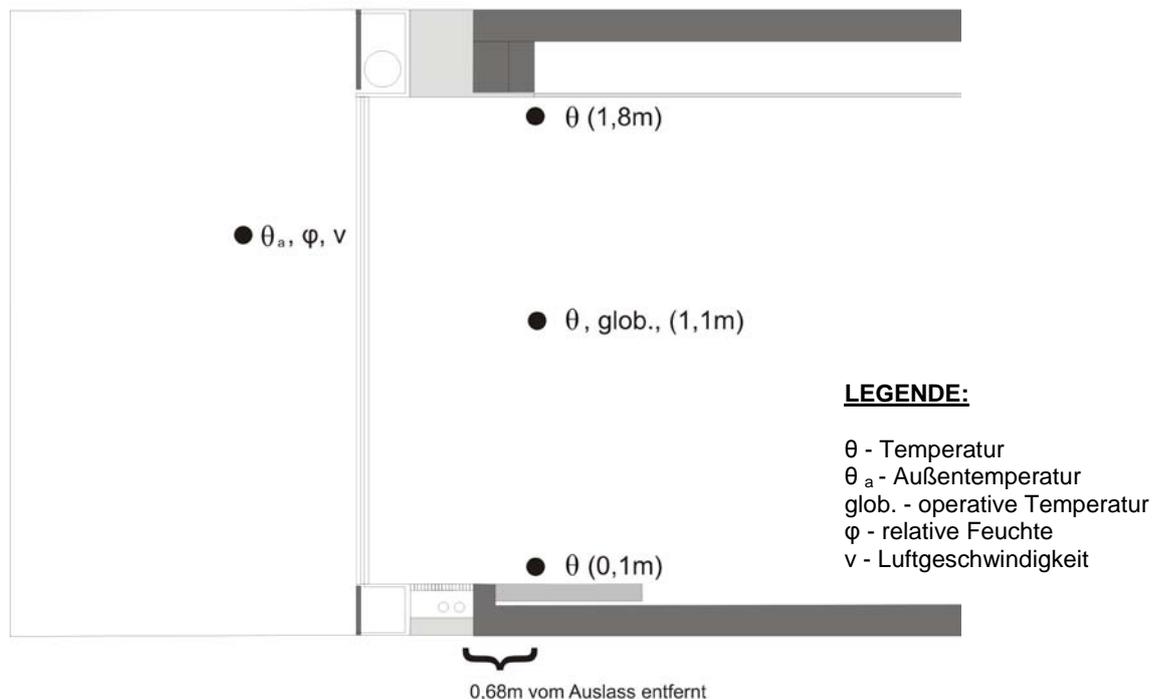
Das Optimum der Behaglichkeit sorgt für eine körperliche Entlastung des Organismus, wodurch Leistungsreserven für geistige Tätigkeiten zur Verfügung stehen. Dies unterstützt eine hohe Arbeitseffizienz und Produktivität. Thermische Behaglichkeit stellt somit auch eine betriebswirtschaftliche Größe dar.

4.3.1. Raumlufttemperatur und globale Temperatur

Raumlufttemperatur

Die Raumlufttemperatur auf der Warmseite wird in einer Höhe von 0,10 m, 1,10 m und 1,80 m (vgl. DIN EN ISO 7730:2006) über Oberkante Fußboden und in einer horizontalen Entfernung von 0,68 m vom Luftauslass gemessen. Auf der Kaltseite wird von einer gleichmäßigen Durchmischung der Raumluft und damit von einer gleichmäßigen Temperaturverteilung über die Höhe ausgegangen. Das Erreichen eines behaglichen Raumklimas bzw. einer definierten Zielgröße für die Raumtemperatur kann mit Hilfe der Messergebnisse ausgewertet werden.

Im folgenden Schema (Abbildung 33) ist die Anordnung der Temperatur-Messpunkte im Raum erkennbar. Die Messungen werden jeweils im Heiz- und Kühlfall für die Einbauvarianten 1-3 durchgeführt.



**Abbildung 33 Messung der Raumlufttemperatur und globale Temperatur, schematische Darstellung
Schnitt Klimakammer: schematische Darstellung**

Die Beurteilung zur thermischen Behaglichkeit im untersuchten Raum erfolgt durch die Tabelle 9 (nach DIN EN ISO 7730:2006). Mit Hilfe der angegebenen Parameter, vertikaler Temperaturunterschied zwischen Kopf- und Fußgelenken einer sitzenden Person und der Oberflächentemperatur des Fußbodens kann eine Beurteilung des Raumkomforts gegeben werden. Eine Einteilung in Kategorien (A, B oder C) ermöglicht eine Aussage zur Qualität der thermischen Behaglichkeit im Raum.

Tabelle A.2 — Vertikaler Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fußgelenken

Kategorie	Vertikaler Lufttemperaturunterschied ^{a)} °C
A	< 2
B	< 3
C	< 4

^{a)} 1,1 und 0,1 m über dem Fußboden.

Tabelle A.3 — Fußbodentemperaturbereich

Kategorie	Oberflächentemperaturbereich des Fußbodens °C
A	19 bis 29
B	19 bis 29
C	17 bis 31

Tabelle 9 Ausschnitt aus DIN EN ISO 7730 – Tabelle A.2 und A.3

globale Temperatur (operative Temperatur)

Die operative Temperatur ist die vom Menschen empfundene Raumtemperatur und berechnet sich aus dem Mittelwert der Raumlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur aller flächengewichteten Oberflächen (Wände, Fußboden, Decke, Fenster, Heizkörper, usw. (DIN 13779)). Je kälter die Wandoberflächentemperaturen, desto höher muss die Lufttemperatur sein, damit sich ein für den Menschen angenehmes Raumklima einstellt.

Die operative Temperatur wird mit folgender Formel berechnet:

$$g_o = \frac{g_{Raum} + g_{mittl. Strahlungstemperatur}}{2}$$

Das Behaglichkeitsdiagramm in Abbildung 34 zeigt den Zusammenhang der mittleren Raumtemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur. Der grün markierte Bereich ist aus Sicht des Behaglichkeitsempfindens anzustreben.

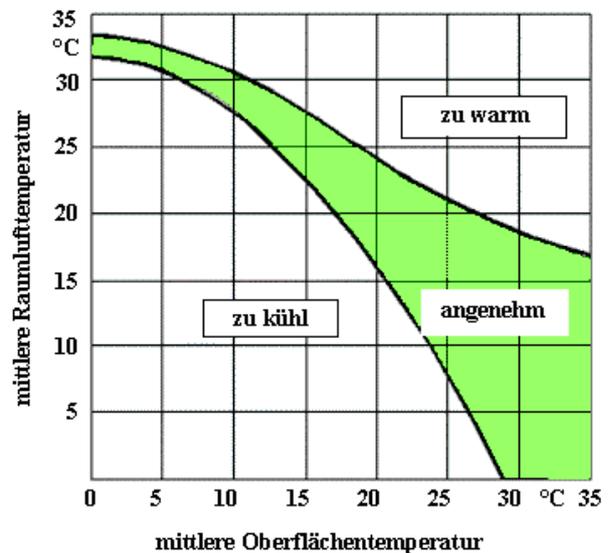


Abbildung 34 operative Temperatur
(Quelle: <http://www.swbherten.de/heizung/bilder/raumte1a.gif>)

Nach DIN EN ISO 7730:2006 wird die operative Temperatur in Innenräumen im Sommer zwischen 23,5 und 25,5°C mit Kategorie A (Gut) bewertet (siehe Abbildung 35).

	Farbe	Begrenzung	Bezeichnung
A	Grün:	$23,5^{\circ}\text{C} \leq \text{Top} \leq 25,5^{\circ}\text{C}$	Guter Komfort, keine Probleme.
B	Gelb:	$23,0^{\circ}\text{C} \leq \text{Top} < 23,5^{\circ}\text{C}$ $25,5^{\circ}\text{C} < \text{Top} \leq 26,0^{\circ}\text{C}$	Akzeptabler Komfort, keine signifikanten Einschränkungen.
C	Rot:	$22,0^{\circ}\text{C} \leq \text{Top} < 23,0^{\circ}\text{C}$ $26,0^{\circ}\text{C} < \text{Top} \leq 27,0^{\circ}\text{C}$	Leicht eingeschränkter Komfort, geringe Überschreitung von Grenzwerten.

Abbildung 35 Bewertung der operativen Temperatur im Sommer nach DIN EN ISO 7730:2006

Die Kriterien für die operative Temperatur beziehen sich auf übliche Tätigkeitsgrade, unter Berücksichtigung einer Bekleidung von 0,5 clo im Sommer und 1,0 clo im Winter. Die angegebene Aktivität von 70 Wm^{-2} entspricht dem Energieumsatz bei einer sitzenden Tätigkeit im Büro.

(0,5 clo – Unterhose, Hemd mit kurzen Ärmeln, leichte Hose, leichte Socken, Schuhe)

(1,0 clo – Slip, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe)

Quelle: DIN EN ISO 7730:2006

4.3.2. Oberflächentemperatur an der Fassade

Bei den untersuchten Messreihen wird von einer Raumtemperatur von 20°C und einer relativen Raumluftfeuchte von 40% ausgegangen. Bei den Oberflächentemperaturen im Heiz- sowie im Kühlfall ist die Möglichkeit der Kondensatbildung an der Wand- bzw. Fassadenoberfläche zu prüfen.

Die Oberflächentemperatur auf der Innenseite der Fassade geht in Form von Strahlungstemperatur in die Ermittlung der globalen Temperatur ein (siehe Kapitel 4.3.1).

Die folgende Abbildung verdeutlicht die Anordnung der Messpunkte an der Fassadenoberfläche auf der Warm- und Kaltseite in der Klimakammer:

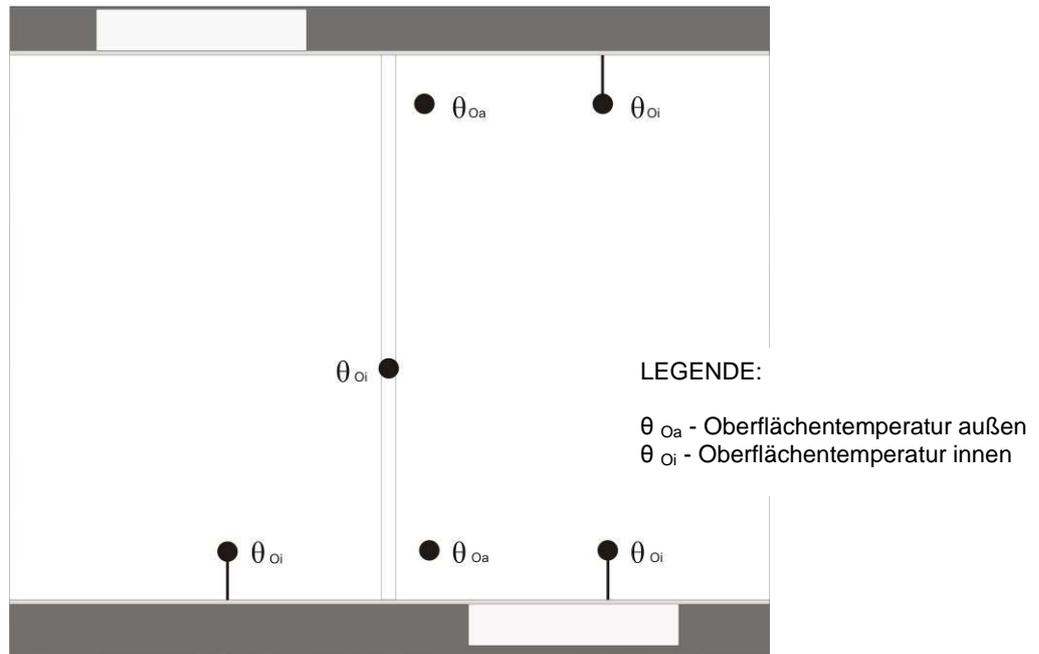


Abbildung 36 Messung der Oberflächentemperatur an der Fassade außen und innen
Ansicht Fassade aus dem Innenraum: schematische Darstellung

4.3.3. Relative Raumlufffeuchte

Um eine Aussage zur Behaglichkeit im Raum geben zu können, wird die relative Raumlufffeuchte in Abhängigkeit von der Raumlufftemperatur am Arbeitsplatz gemessen. Dazu werden in der Klimakammer Feuchtigkeitsmessgeräte eingesetzt, die auf der Warm- und auf der Kaltseite relevante Daten für eine Auswertung liefern. In der folgenden Darstellung ist die Anordnung der Messpunkte in der Klimakammer dargestellt:

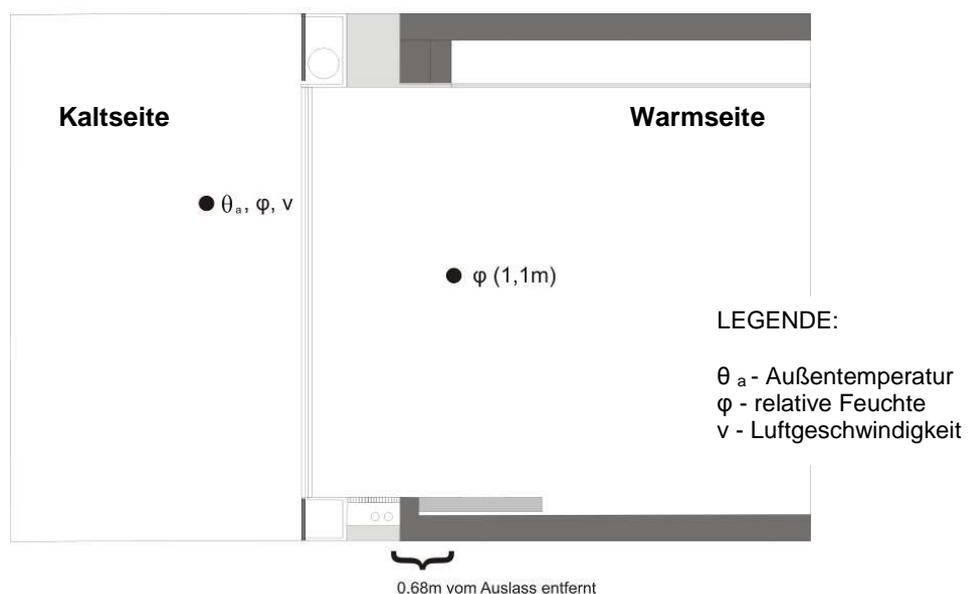
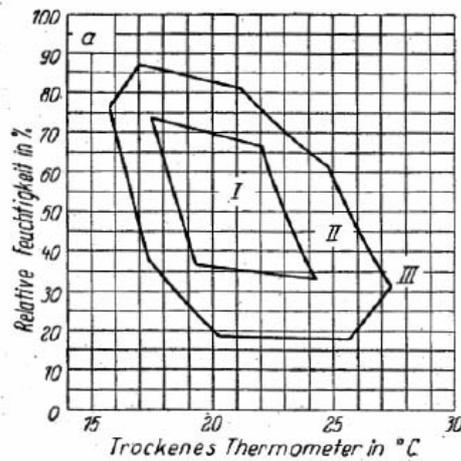
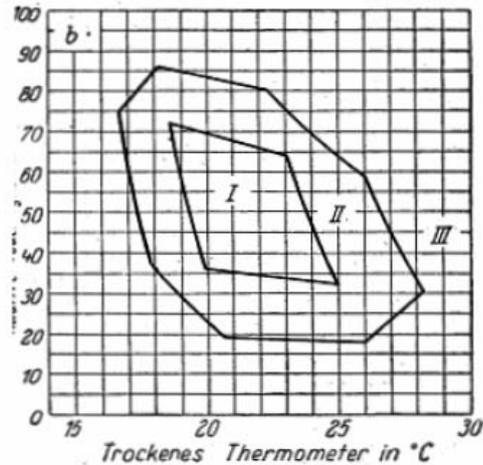


Abbildung 37 Messung der relativen Raumlufffeuchte, Schnitt Klimakammer: schematische Darstellung



Sitzende Beschäftigung
Luftgeschwindigkeiten: unter 0,20 m/s



Sitzende Beschäftigung
Luftgeschwindigkeiten: 0,20 bis 0,30 m/s

I...behaglich

II...noch behaglich, schließt eine Gesundheitsgefährdung aus

III...unbehaglich, mögliche Krankheitsgefahr

Abbildung 38 Behaglichkeitsfeld für das Wertepaar Raumluftheizung / relative Luftfeuchte nach Leusden und Trey mark [27]

Zur Beurteilung der Behaglichkeit im Raum ist die Abbildung 38 zu berücksichtigen. Abhängig von der Raumluftheizung, der relativen Raumluftheuchte und von der Luftgeschwindigkeit im Raum kann aus der Grafik eine Aussage hinsichtlich des Komforts gegeben werden. Bei einer höheren Luftbewegung im Raum, z.B. verursacht durch eine mechanische Lüftung, verschiebt sich das Behaglichkeitsfeld (vgl. linkes und rechtes Bild, Abbildung 38).

4.3.4. Luftverteilung und Raumluftheizung

Luftverteilung

Die Luftverteilung im Raum wird durch das bauseits gelieferte Luftauslassgitter, das sich direkt über dem Konvektor befindet, beeinflusst. In den zu untersuchenden Ausführungen wird bei den Unterflurlüftungsgeräten (Variante 1 und 2) ein Rollrost verwendet, das für eine Zuluftströmung senkrecht nach oben in den Raum sorgt. Das dezentrale Deckengerät (Variante 3) besitzt kein Lüftungsgitter – bei diesem Gerät sorgen variable Schlitzdurchlässe an der Zuluftöffnung des Geräts für eine optimale Luftzuführung. Der Ausblaswinkel der Lüftungslamellen ist manuell einstellbar.

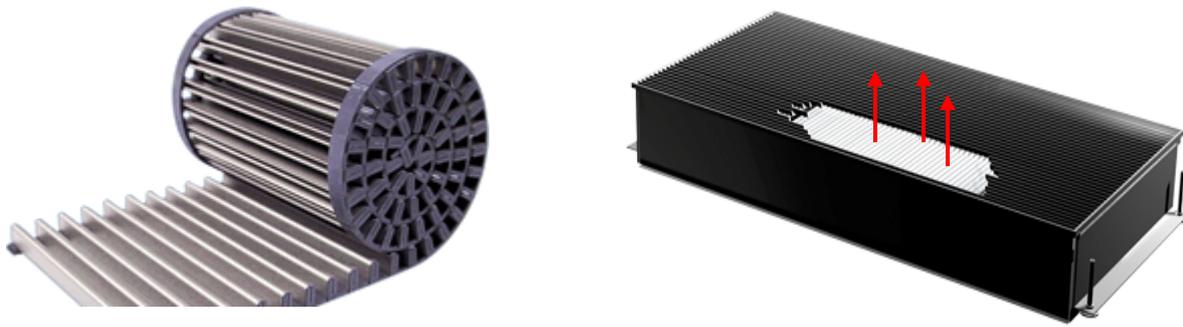


Abbildung 39 links: Aluminium- Rollrost, Fa. TROX
rechts: Luftströmungsrichtung aus dem Konvektor

Mit Hilfe von Nebelversuchen und Thermografieaufnahmen in der Klimakammer wird die Luftverteilung im Raum visuell dargestellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind dem Kapitel 5 – Messungen, zu entnehmen.

Luftgeschwindigkeit im Raum

Zugfreiheit ist ein weiteres Kriterium zur Gewährleistung einer hohen Behaglichkeit am Arbeitsplatz. Deshalb werden Luftgeschwindigkeiten in 0,68 m Entfernung auf der Innenseite der Fassade in 3 Raumebenen (0,10 m; 1,10 m; 1,80 m Raumhöhe) gemessen. Die Messung erfolgt in der Klimakammer mittels Hitzdrahtfühler im Heiz- und Kühlfall.

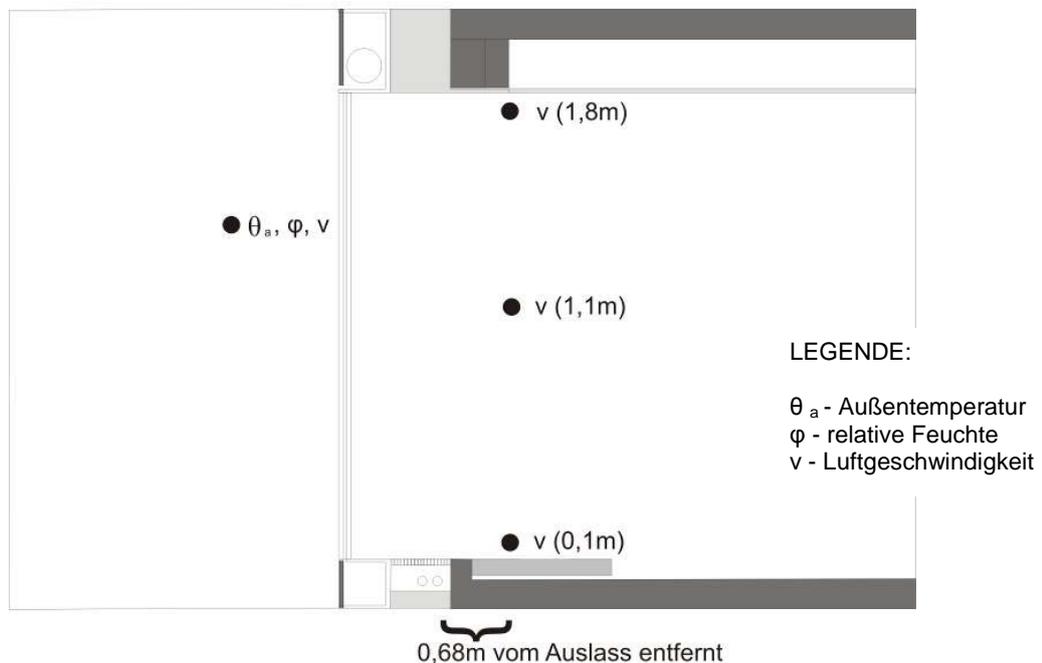


Abbildung 40 Messung der Luftgeschwindigkeit im Raum

Eine überhöhte Luftbewegung kann zu unerwünschten Zugerscheinungen führen. Die Prozentzahl Unzufriedener infolge Zugluft ist - abhängig von der Lufttemperatur - sehr unterschiedlich, so dass es zur Bewertung der Luftbewegung nach DIN EN ISO 7730:2006 für Sommer und Winter unterschiedliche Grenzwerte gibt. Abbildung 41 zeigt die normierte Grenzwerte für die Luftbewegung in [m/s].

	Farbe	Sommer	Winter	Bezeichnung
A	Grün:	$va \leq 0,12$	$va \leq 0,10$	Guter Komfort, keine Probleme.
B	Gelb:	$0,12 < va \leq 0,19$	$0,10 < va \leq 0,16$	Akzeptabler Komfort, keine signifikanten Einschränkungen.
C	Rot:	$0,19 < va \leq 0,24$	$0,16 < va \leq 0,21$	Leicht eingeschränkter Komfort, geringe Überschreitung von Grenzwerten.

Abbildung 41 Bewertung der Luftbewegung in [m/s] nach DIN EN ISO 7730:2006 abhängig von der Jahreszeit

Zur Bewertung einer Abkühlung infolge Zugluft wird nach DIN EN ISO 7730:2006 aus den Parametern Lufttemperatur, mittlere Luftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad ein prozentualer Anteil Unzufriedener ermittelt (siehe Abbildung 42).

	Farbe	Begrenzung	Bezeichnung
A	Grün:	$DR < 10\%$	Guter Komfort, keine Probleme.
B	Gelb:	$10\% \leq DR < 20\%$	Akzeptabler Komfort, keine signifikanten Einschränkungen.
C	Rot:	$20\% \leq DR < 30\%$	Leicht eingeschränkter Komfort, geringe Überschreitung von Grenzwerten.

Abbildung 42 Bewertung der Beeinträchtigung durch Zugluft (Draught Rating – DR) nach DIN EN ISO 7730:2006

Die Kriterien für die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit sind auf übliche Tätigkeitsgrade bezogen, unter Berücksichtigung einer Bekleidung von 0,5 clo im Sommer und 1,0 clo im Winter. Die angegebene Aktivität von 70 Wm^{-2} entspricht dem Energieumsatz bei einer sitzenden Tätigkeit im Büro.

(0,5 clo – Unterhose, Hemd mit kurzen Ärmeln, leichte Hose, leichte Socken, Schuhe)

(1,0 clo – Slip, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe)

Quelle: DIN EN ISO 7730

4.3.5. Schalldruckpegelmessung außen und innen

Um eine Aussage zum Betriebsverhalten der Geräte geben zu können, werden Schalldruckpegelmessungen durchgeführt, die Aufschluss über die Lautstärke der Geräte im Betrieb geben. Dazu werden sowohl auf der Rauminnenseite, als auch im simulierten Kaltbereich Messfühler angebracht. Der Grenzwert des Schalldruckpegels für Büroarbeitsplätze beträgt laut DIN 13779 max. 40 dB(A). Darüber liegende dauerhafte Schallemissionen werden als störend empfunden.

Bei den durchgeführten Messungen zum Schalldruckpegel handelt es sich um keine Normmessungen – Toleranzen bei den Ergebnissen sollten deshalb berücksichtigt werden.

Außen

Bei den Schalldruckpegelmessungen auf der Kaltseite der Fassade werden verschiedene Ausführungen des Fortluftauslasses untersucht, um festzustellen, welcher Auslass sich am günstigsten auf die Geräuschentwicklung auswirkt. Die Untersuchungen werden mit einem runden und einem eckigen Fortluftauslass durchgeführt. Gemessen wird an der Außenfassade in ca. 1 m Entfernung.



Abbildung 43 eckiger Fortluftauslass



Abbildung 44 runder Fortluftauslass

Innen

Am Beispiel des eingebauten Zuluft-Unterflurgeräts und Abluft-Deckengeräts (Einbauvariante 2) wird der äquivalente Schalldruckpegel für verschiedene Leistungsstufen über jeweils 20 Sekunden gemessen.

Bei den Messungen wird von sauberen Geräten bzw. Filtern ausgegangen. Dezentrale Lüftungsgeräte, die bereits über einen längeren Zeitraum betrieben wurden, können abweichende Schalldruckpegels aufweisen. Insbesondere bei verschmutzten Filtern ergeben sich aufgrund erhöhter Ventilator Drehzahlen veränderte Schallemissionen. Der Einfluss wird mit der vorliegenden Untersuchung nicht abgebildet.

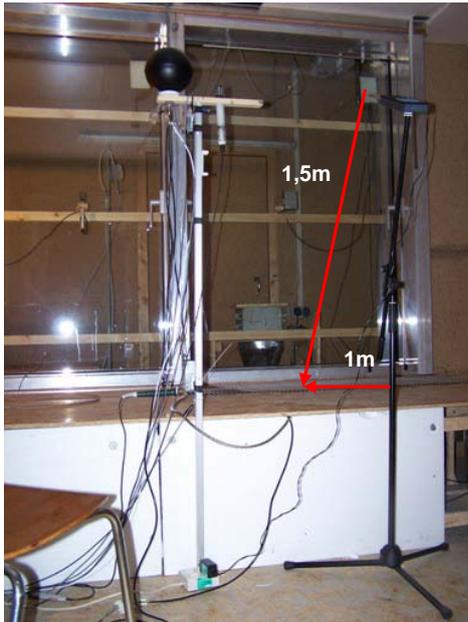


Abbildung 45 links: Versuchsaufbau

Die Schalldruckpegelmessungen erfolgen in der Klimakammer. Der Messort entspricht nicht dem idealen (normierten) Messort für Schalldruckpegelmessungen. In Abbildung 45 ist der Versuchsaufbau in der Klimakammer ersichtlich.

4.3.6. Verhalten bei windstill, Winddruck und Windsog

Das Betriebsverhalten der Ventilatoren bezüglich der Drehzahlen und der elektrischen Leistungen und das Verhalten der Lüftungsklappen am Gerät wird an der Einbauvariante 1 bei den Außenbedingungen: windstill, Winddruck und Windsog auf die Fassade untersucht. Dazu wird eine Blower-Door in die Außentür der Klimakammer eingebaut und mit dem Türrahmen luftdicht verschlossen. Mit der Inbetriebnahme des eingesetzten Ventilators der Blower-Door-Ausrüstung wird auf der simulierten Außen-/ Kaltseite der Klimakammer ein Winddruck bzw. ein -sog simuliert. Je nach Drehzahleinstellung des Ventilators wird ein leichter Winddruck bzw. ein leichter Windsog mit ca. +20 Pa bzw. -20 Pa auf die Fassade realisiert. Der starke Winddruck und Windsog wird mit +50 Pa bzw. -50 Pa simuliert. Die Temperaturen während des Versuchs entsprechen der Raumtemperatur von 20 °C.



Abbildung 46 Anordnung der Blower – Door in der Klimakammer

Die motorische Absperrklappe ist bei eingeschaltetem Lüftungsgerät geöffnet. Bei abgeschaltetem Gerät oder bei Stromausfall ist die Klappe geschlossen (Kondensatorrücklauf).

4.4. Luftverteilung im Raum

4.4.1. Nebelversuche

Zur Visualisierung von Luftströmungen im Testbüro (Warmseite Klimakammer) wird ein Nebelgenerator eingesetzt. Dazu wird der Außenluft vor der Fassade Nebel zugeführt, der durch den Betrieb der dezentralen Lüftungsgeräte in den zu konditionierenden Raum strömt. Auf der Rauminnenseite ist je nach Leistungsstufe der Geräte die Luftverteilung sichtbar (siehe Abbildung 47).

In Abbildung 48 ist die Vorgehensweise umgekehrt. Auf der simulierten Rauminnenseite befindet sich oberhalb der Abluftansaugung der Nebelgenerator. Mit Inbetriebnahme des Generators wird auf der Außenseite der Fassade im Bereich des Fortluftkanals der Luftstrom deutlich. An dieser Stelle kann geprüft werden, ob es im Fassadenbereich zwischen den Geschossen zu einem Kurzschluss von Fort- und Außenluft kommt.



Abbildung 47 Nebelversuch: Zuluftverteilung im Raum (links)



Abbildung 48 Nebelversuch: Fortluftausblasung an der Fassade (rechts)

Die "Nebelversuche" werden bei verschiedenen Außentemperaturen (Simulation eines Sommer- und eines Winterfalls) und bei drei unterschiedlichen Leistungsstufen durchgeführt. Des Weiteren werden Video-Aufnahmen zur Verdeutlichung der Luftströmung aufgezeichnet und ausgewertet. Diese Videos können auf der Homepage des Instituts unter <http://www.igs.bau.tu-bs.de/forschung/interface/studien/frameset.htm> angesehen werden.

4.4.2. Thermographie-Aufnahmen

Die Thermographie ist ein bildgebendes Verfahren, mit dem Temperaturverteilungen sichtbar gemacht werden können. Über eine spezielle Kamera ist es dabei möglich, die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung zu verdeutlichen. Die Thermographie wird im infraroten Bereich eingesetzt - dabei werden verschiedene Wellenbereiche und damit unterschiedliche Objekttemperaturen über ein sichtbares Bild dargestellt!

In diesem Forschungsprojekt wird mit Hilfe der Thermographie die durch die Lüftungsgeräte verursachte Luftströmung im Raum abgebildet.

Die Thermografie-Aufnahmen werden für die dezentralen Lüftungsgeräte unter verschiedenen Außentemperaturen (-10°C, -5°C, 0°C - Heizfall) und (26°C, 29°C und 32°C - Kühlfall) und bei drei unterschiedlichen Leistungsstufen erstellt.

Zur besseren Darstellung der Aufnahmen wird in der Klimakammer direkt über dem Konvektor ein dunkler Hintergrund, in Form eines Stoffvorhangs, montiert (Abbildung 49). Die Ergebnisse der Thermografieaufnahmen sind dem Kapitel 7 - Variantenvergleich, zu entnehmen.

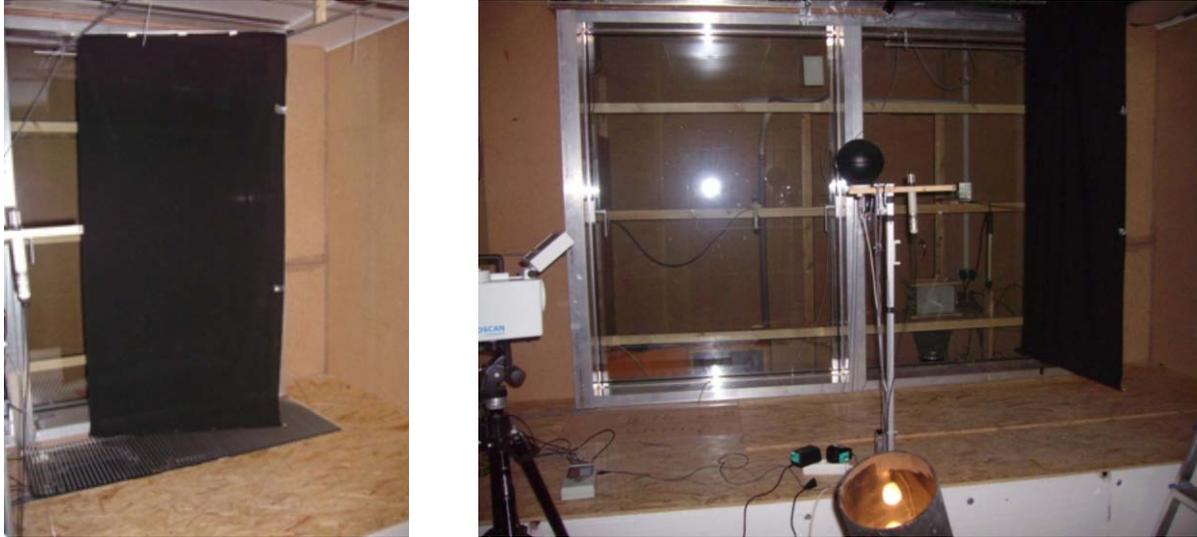


Abbildung 49 Integration eines Vorhangs zur besseren Darstellung der Thermografie-Aufnahmen

Kapitel 5

Messung: Dezentrale Lüftungsgeräte

5. MESSUNG: DEZENTRALE LÜFTUNGSGERÄTE

Im Rahmen der im folgenden beschriebenen Messungen werden die technischen Daten der dezentralen Lüftungsgeräte/ Konvektoren, siehe Kapitel 2.6., hinsichtlich Lüftungs-, Heiz- und Kühlleistung gemessen.

5.1. Ermittlung des Zuluftvolumenstroms

Unter dem Zuluftvolumenstrom versteht man das Luftvolumen, das sich innerhalb einer Zeiteinheit mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit durch einen Querschnitt bewegt. Folgende Methoden werden untersucht, um den Zuluftvolumenstrom der eingesetzten dezentralen Lüftungsgeräte in der Klimakammer zu bestimmen:

1. Berechnung des Volumenstroms aus der Drehzahl des Zuluftventilators
(Bei dieser Berechnung kann es zu Ungenauigkeiten bzw. Fehlermessungen kommen, da Ventilatoren mit volumenstromkonstanter EC-Technik eingesetzt wurden. Die Drehzahl ist eine Funktion des Druckverlustes!)
2. Berechnung aus der wasserseitigen Konvektorleistung
(Bei dieser Berechnung wird davon ausgegangen, dass die abgegebene Leistung des Konvektors der Luftleistung entspricht.)
3. Messung des Volumenstroms mittels Tracergas

Nach einer Testphase zur korrekten Positionierung der Messfühler können Ungenauigkeiten in den Messreihen behoben und exakte Luftvolumenströme aus der Drehzahl und aus der luft- und wasserseitigen Konvektorleistung bestimmt werden. Zur Validierung der erzielten Ergebnisse wird zusätzlich eine Tracergas-Untersuchung durchgeführt, die die genaueste Methode zur Bestimmung des Luftvolumenstroms darstellt.

Um die luft- und wasserseitigen Leistungen miteinander vergleichen zu können, muss bei der Tracergas-Untersuchung eine exakte Messung des Luftvolumenstroms gegeben sein.

Bei der Tracergas-Methode wird die Raumluft in der Klimakammer mit einer geringen Menge eines messbaren Indikatorgases (SF_6) angereichert. Nach homogener Durchmischung dieses Gases im Raum kann mit einem IR-Gasanalysator die Konzentration gemessen werden. Durch das Einbringen frischer Luft und gleichzeitigem Abtransport des Luft-Tracergas-Gemisches über die dezentralen Geräte, erfolgt im Messraum ein Konzentrationsabfall, der exakt bestimmt und aufgezeichnet wird. Aus dieser Konzentrationsabnahme des Tracergases wird schließlich der Volumenstrom berechnet.

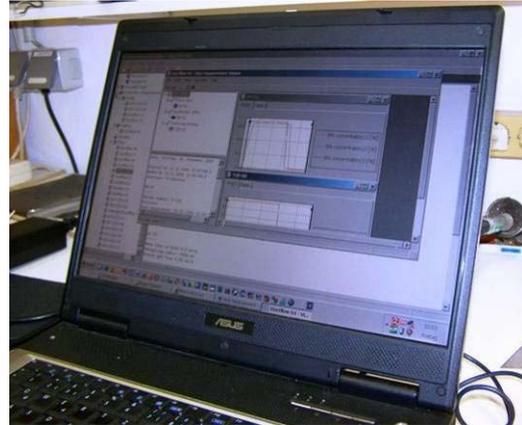


Abbildung 50 links: Messfühler für Tracergas- Messung am Deckengerät
rechts: Messwerterfassung und Berechnung

Die Tracergas-Untersuchung erfolgt für alle 3 Leistungsstufen der dezentralen Lüftungsgeräte im Heiz- und Kühlfall. Abbildung 51 ist ein Beispiel für die Ermittlung des Luftvolumenstroms der Leistungsstufe 1.

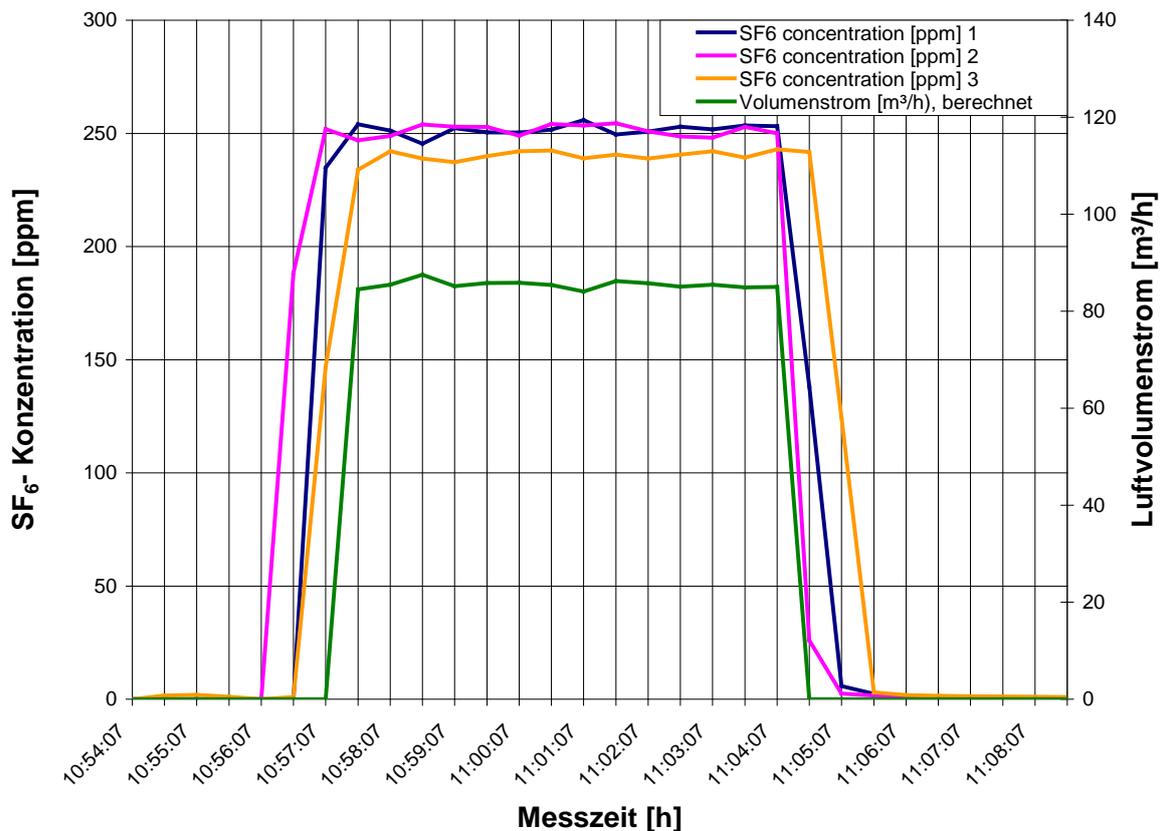


Abbildung 51 Tracergas- Versuch, Volumenstromermittlung am Beispiel 80m³/h

Aus den Ergebnissen der Tracergas-Untersuchung wird deutlich, dass für den Heiz- und Kühlfall verschiedene Steuerspannungen erforderlich sind, um die im Vorfeld festgelegten Luftvolumenströme von 80 m³/h, 120 m³/h und 140 m³/h einzuhalten. Unter Berücksichtigung der Gegebenheiten in der Klimakammer sind die Tracergas-Messergebnisse in der folgenden Tabelle 10 aufgeführt.

In der Luft-Leistungsberechnung wird das Produkt aus dem mittels Tracergas ermittelten Volumenstrom und der entsprechenden Dichte der Zulufttemperatur berücksichtigt.

Leistungsstufe	Zuluftvolumenstrom [m ³ /h]	Steuerspannung [V]	
		Heizfall	Kühlfall
1	80 (85)	2,15	1,5
2	120	3,9	3,1
3	140	4,8	4,1

Tabelle 10 Steuerspannungen im Heiz- und Kühlfall

Anmerkung:

Obwohl im Kühlfall bei Leistungsstufe 1 am Zuluftventilator eine Steuerspannung von ca. 1,3 V benötigt wird (siehe Abbildung 52), wird eine Spannung von 1,5 V angelegt. Damit ist ein zuverlässiges Arbeiten des Ventilators gewährleistet (laut Hersteller sind mindestens 1,7 V anzulegen!). Die Luftfördermenge beträgt somit ca. 85 m³/h und entspricht der im Bericht verwendeten Bezeichnung „Leistungsstufe 1“.

Variante 1- Luftmengen (Tracer Gas) gemessen beim getrennten Betrieb beider Ventilatoren
 Aussenluft_Temp ca. 26 und 32 °C und 0 und -5°C
 Raumlufttemperatur: ca. 21 °C (Vers_24.09.2008)

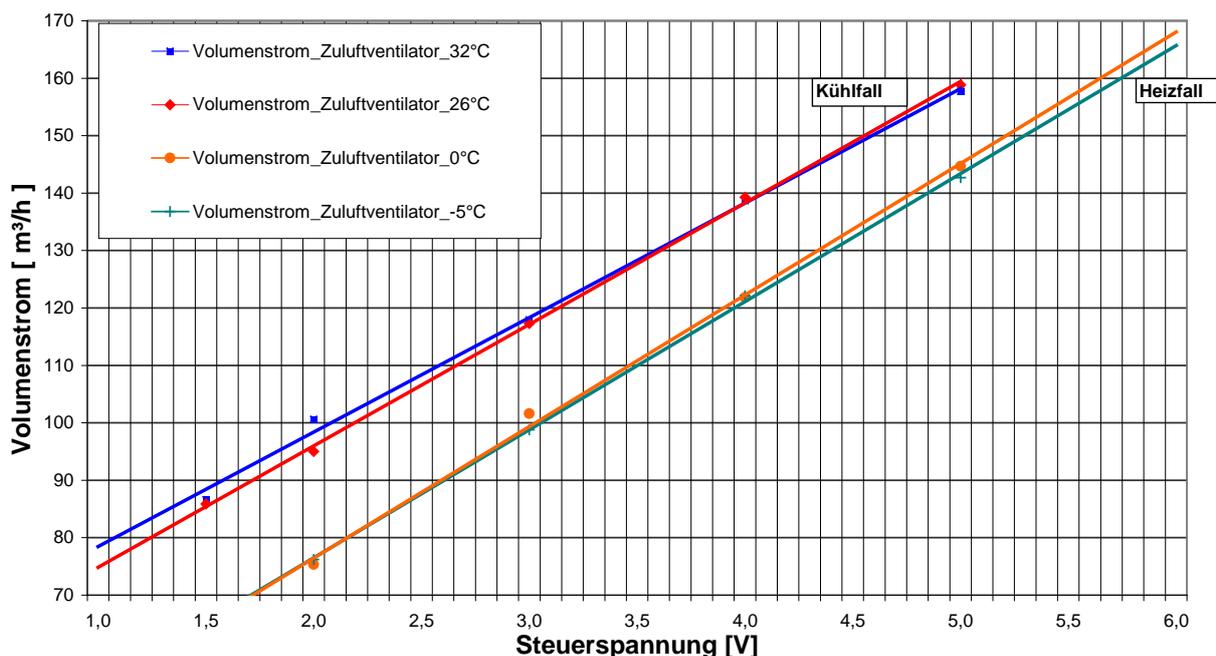


Abbildung 52 Diagramm Volumenstrom im Heiz- und Kühlfall

In Abbildung 52 sind die Ergebnisse der Tabelle 10 grafisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Kennlinien des Heizfalls, gemessen bei 26°C und 32°C und die des Kühlfalls bei 0°C und -5°C jeweils nahezu übereinander liegen. Vergleicht man die Ergebnisse des Heiz- und des Kühlfalls direkt miteinander, so werden die unterschiedlichen Steuerspannungen zur Gewährleistung eines im Vorfeld bestimmten Volumenstroms deutlich.

Der Massenstrom ist bei gleichen Steuerspannungen konstant. Die unterschiedlichen Luftvolumenströme sind mit den Dichteunterschieden begründet.

5.2. Vorlauftemperatur im Heiz- und Kühlfall

Für die Ermittlung der wasserseitigen Leistung ist es erforderlich, die Vorlauftemperaturen für den Heiz- und Kühlfall festzulegen.

Heizfall

Die Vorlauftemperaturen werden bei einer Regelung der Raumlufttemperatur mit Thermostatventil und Fernfühler in Abhängigkeit von der Außentemperatur eingestellt:

Außentemperatur [°C]	Vorlauftemperatur [°C]
0	50
-5	55
-10	60

Tabelle 11 Vorlauftemperatur Heizfall

Die Vorlauftemperaturen, die in den Versuchen für die Konvektorleistungsberechnung verwendet werden, sind direkt am Konvektor zu messen. Aufgrund von Leitungsverlusten weichen diese von den tabellarisch aufgeführten ab.

Kühlfall

Außentemperatur [°C]	Vorlauftemperatur [°C]
26	16
29	
32	

Tabelle 12 Vorlauftemperatur Kühlfall

5.3. Zulufttemperatur

Zur Ermittlung der luftseitigen Konvektorleistung ist ein möglichst genauer Wert der Zulufttemperatur notwendig. Aus diesem Grund wird zunächst ein Temperaturfühler direkt oberhalb des Konvektors angebracht, der die Zulufttemperatur misst. Die Luftmenge, die in den Raum geführt wird, beträgt 140 m³/h und entspricht der Leistungsstufe 3.

Das Messergebnis mit einem 2-Punkt-Regler verdeutlicht, dass die ermittelte luft- und wasserseitige Konvektorleistung voneinander abweichen (siehe Abbildung 53 – roter und blauer Linienverlauf - inhomogene Leistungskurve „Peaks“ verursacht durch Einschwingverhalten des Reglers). Bei einem korrekten Messergebnis müssen beide Linien übereinander liegen, d.h. die luft- und wasserseitigen Konvektorleistungen sind identisch.

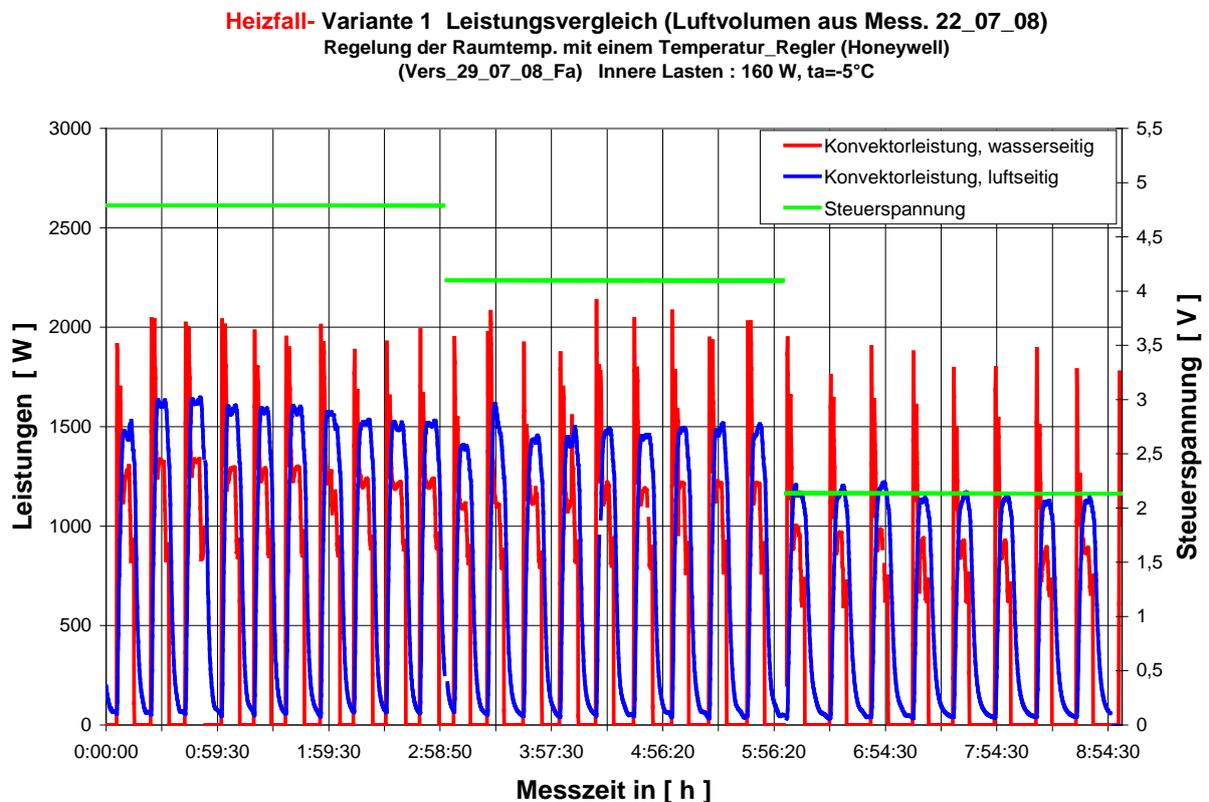


Abbildung 53 Leistungen im Vergleich

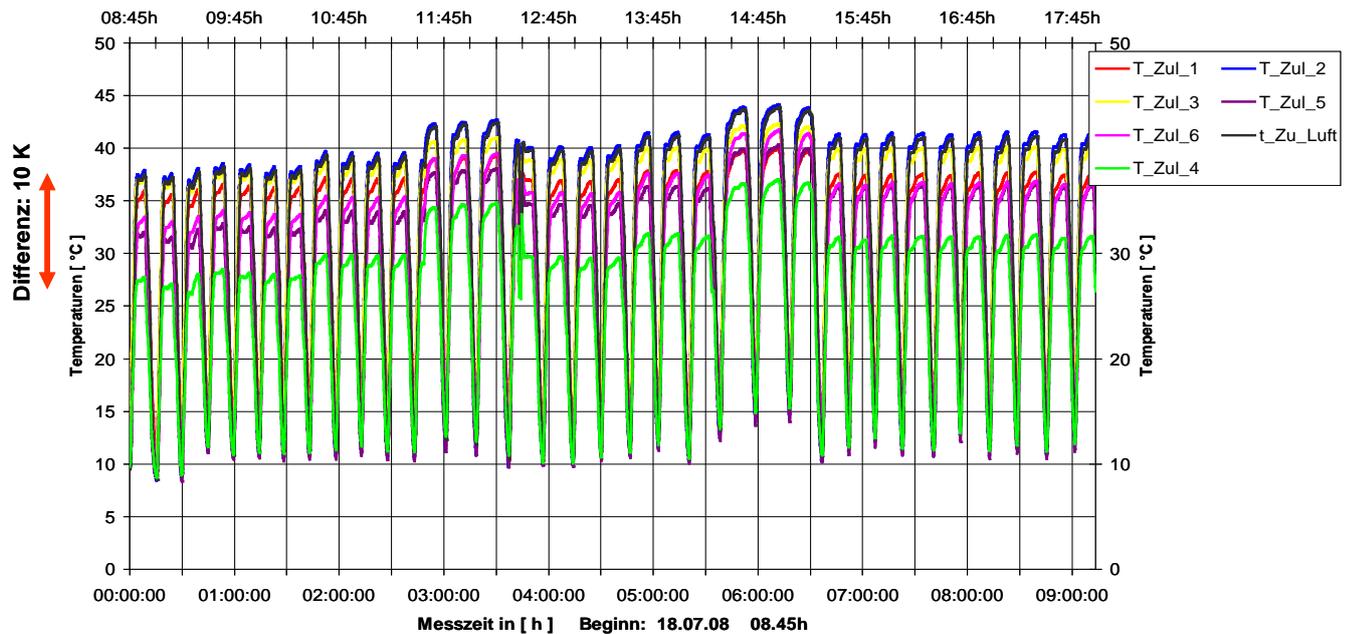


Abbildung 54 Zulufttemperaturen (sieben Messfühler)

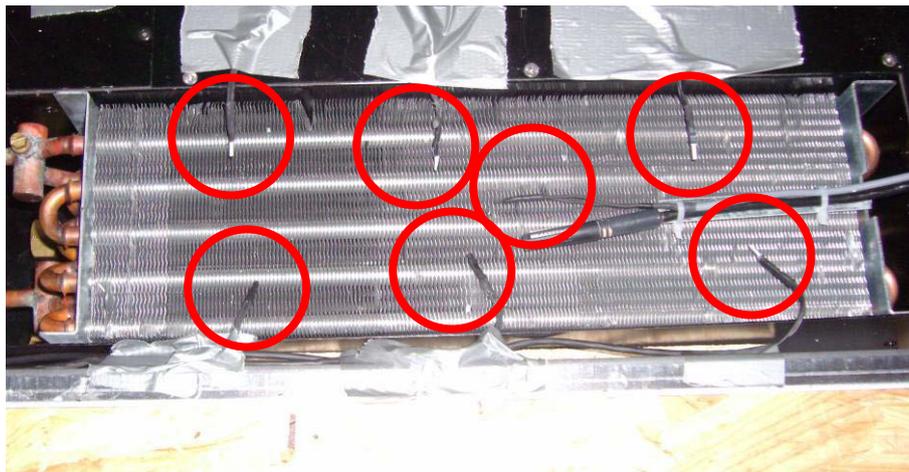


Abbildung 55 Anordnung der sieben Messfühler

In einer zweiten Messung mit Gerätevariante 1, bei einer Außentemperatur von 0°C (Temperatur nach der Wärmerückgewinnung: $7,2^{\circ}\text{C}$) und der Leistungsstufe 3, werden **sieben** Temperaturfühler direkt oberhalb des Konvektors angebracht, um das Ergebnis der ersten Messung zu überprüfen (siehe Abbildung 54 und Abbildung 55). Hierbei zeigt sich, dass trotz gleichmäßiger Durchströmung durch den Wärmetauscher die ermittelte Temperaturdifferenz oberhalb des Konvektors (zwischen der ersten Messung mit nur einem Fühler und der zweiten Messung mit sieben Temperaturfühlern) 10 Kelvin beträgt. Die Ursache dieser Temperaturdifferenz ist darin begründet, dass durch die mäanderförmige Strömung des Wassers im Konvektor keine gleichmäßige Verteilung gegeben ist.

Aus dieser Temperaturdifferenz von 10 Kelvin wird die mittlere Zulufttemperatur berechnet. Unter Berücksichtigung dieses Mittelwertes wird in der folgenden Berechnung der Einfluss der unterschiedlichen Temperaturen auf den Zuluftvolumenstrom deutlich. Für die Berechnung wird die mittlere Dichte von $1,2 \text{ kg/m}^3$ der Temperaturdifferenz gewählt.

Berechnungsvorschrift
des Zuluft-
Volumenstroms

$$q_{V,L} = \frac{\dot{Q}_{\text{Konvektor}}}{\rho_L * c_{pL} * (\theta_{zu} - \theta_{nach\ WRG})}$$

Zulufttemperatur 1
gemessen
33,2°C

$$q_{V,L} = \frac{1,16 \text{ kJ} / \text{s} * 3600 \text{ s} / \text{h}}{1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 * 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} * (33,2 - 7,2) \text{ K}} = \underline{\underline{134 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}}$$

Zulufttemperatur 2
gemessen
36,5°C

$$q_{V,L} = \frac{1,16 \text{ kJ} / \text{s} * 3600 \text{ s} / \text{h}}{1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 * 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} * (36,5 - 7,2) \text{ K}} = \underline{\underline{119 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}}$$

Zulufttemperatur 3
gemessen
36,2°C

$$q_{V,L} = \frac{1,16 \text{ kJ} / \text{s} * 3600 \text{ s} / \text{h}}{1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 * 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} * (36,2 - 7,2) \text{ K}} = \underline{\underline{120 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}}$$

Zulufttemperatur 4
gemessen
26,3°C

$$q_{V,L} = \frac{1,16 \text{ kJ} / \text{s} * 3600 \text{ s} / \text{h}}{1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 * 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} * (26,3 - 7,2) \text{ K}} = \underline{\underline{183 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}}$$

Zulufttemperatur 5
gemessen
30,7°C

$$q_{V,L} = \frac{1,16 \text{ kJ} / \text{s} * 3600 \text{ s} / \text{h}}{1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 * 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} * (30,7 - 7,2) \text{ K}} = \underline{\underline{148 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}}$$

Zulufttemperatur 6
gemessen
30,1°C

$$q_{V,L} = \frac{1,16 \text{ kJ} / \text{s} * 3600 \text{ s} / \text{h}}{1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 * 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} * (30,1 - 7,2) \text{ K}} = \underline{\underline{152 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}}$$

Zulufttemperatur 7
gemessen
35,1°C

$$q_{V,L} = \frac{1,16 \text{ kJ} / \text{s} * 3600 \text{ s} / \text{h}}{1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 * 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} * (35,1 - 7,2) \text{ K}} = \underline{\underline{125 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}}$$

mittlerer Zuluft-
Volumenstrom

$$q_{V,L,mittel} = \underline{\underline{140 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}}$$

Abbildung 56 Berechnung des Zuluft-Volumenstroms unter Berücksichtigung der Zulufttemperatur

Aus dieser Erkenntnis heraus werden für alle weiteren Messungen am Konvektor **drei** Temperaturmessfühler direkt am Wärmetauscher angeordnet, aus denen die mittlere Zulufttemperatur bestimmt wird (siehe Abbildung 57 und Abbildung 58).

Heizfall - Messung der Zulufttemperaturen am Konvektor, t_a ca. - 5°C
Vers_20_10_08_Fa Regelung der Raumtemp. mit Thermostat_Ventil (Heimeier)
Innere Lasten: 160 W

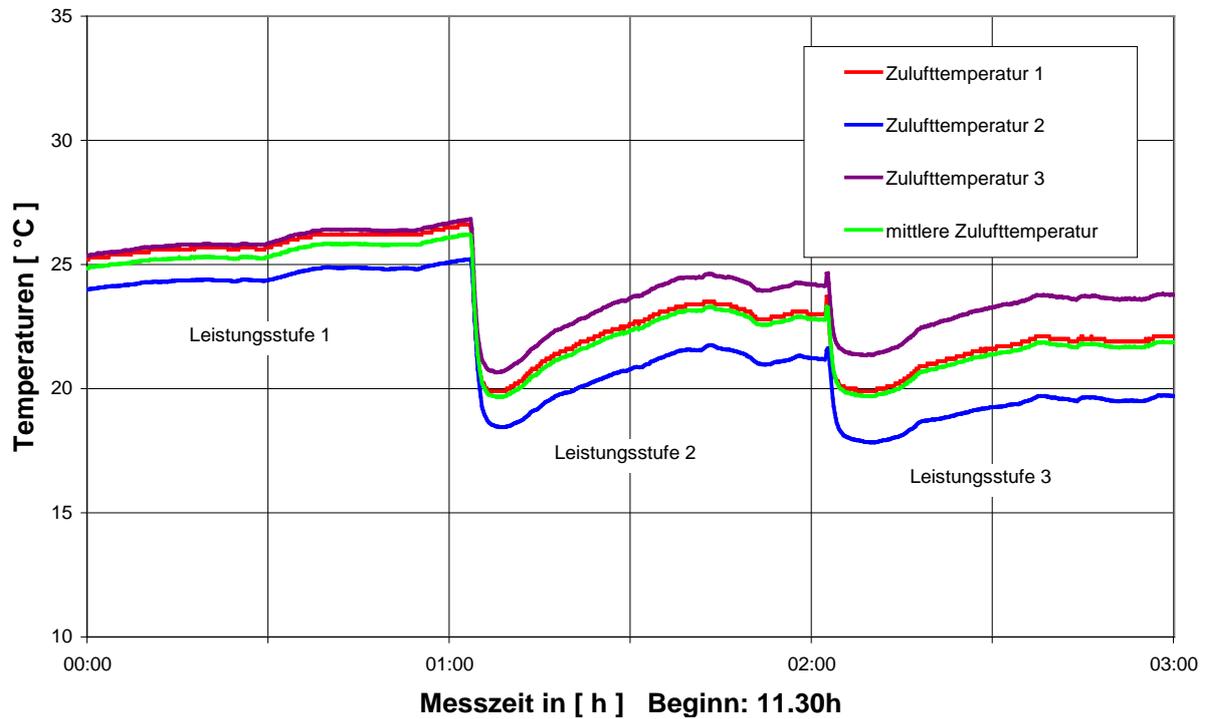


Abbildung 57 Messergebnisse Zulufttemperatur, Beispiel: Heizfall

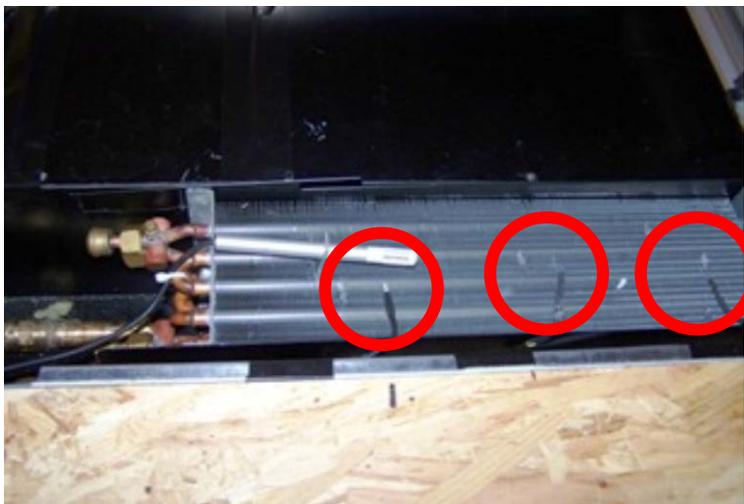


Abbildung 58 Anordnung der drei Temperaturmessfühler

Die Auswertung der mittleren Zulufttemperatur und die daraus ermittelte luftseitige Konvektorleistung zeigen, dass die luft- und wasserseitige Konvektorleistung nahezu übereinstimmen (siehe Abbildung 59).

Heizfall- Variante 1 Leistungsvergleich
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 (Vers_07_10_08_Fa) Innere Lasten : 160 W, $t_a = -5^\circ\text{C}$

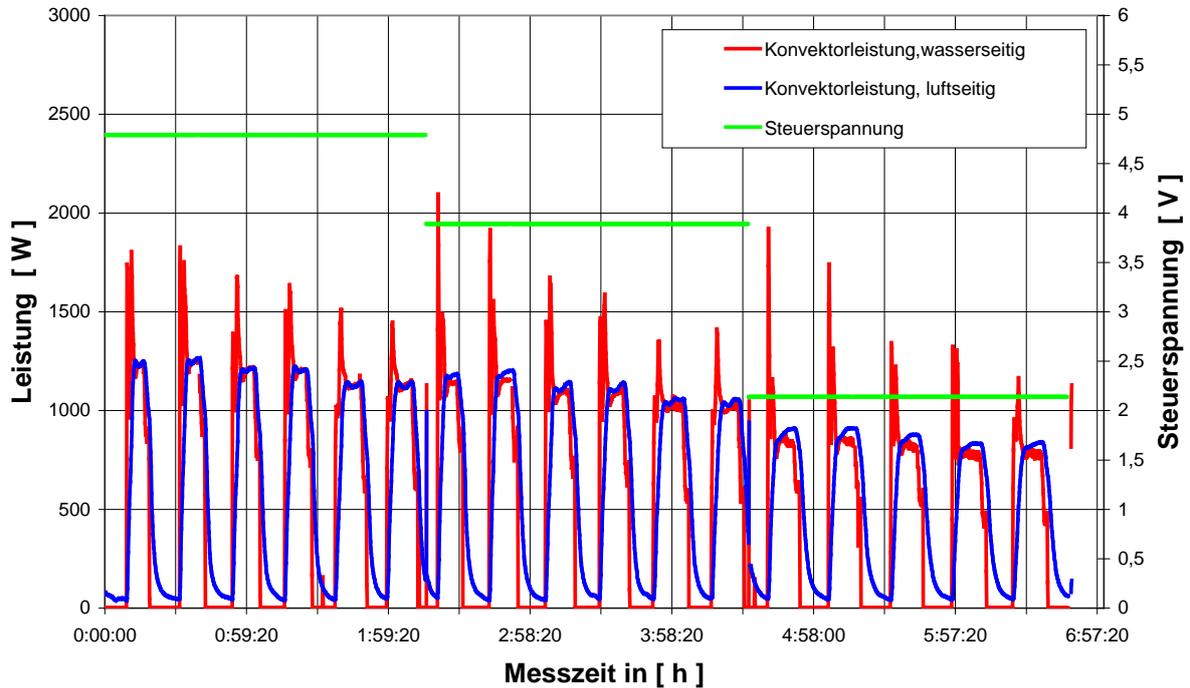


Abbildung 59 Luft- und wasserseitige Konvektorleistungen im Vergleich

5.4. Temperatur vor dem Konvektor

Die Temperatur vor dem Konvektor bzw. die Temperatur nach der Wärmerückgewinnung geht in die Berechnung der luftseitigen Konvektorleistung ein. Deshalb ist es wichtig, einen möglichst genauen Wert zu messen.

Die Temperatur vor dem Konvektor wird ebenfalls aus drei Messwerten gemittelt. Bei der Auswertung der Messergebnisse sind im Heiz- und im Kühlfall Abweichungen von maximal 2 Kelvin zu erkennen (Abbildung 60 und Abbildung 61). Die Ursache der geringen Abweichungen ist eine ungleiche Anströmung der Luft im Lüftungsgerät vor dem Konvektor.

Heizfall- Temperatur vor dem Konvektor
 Regelung der Raumtemp. mit einem Thermostat_Ventil (Heimeier)
 Innere Lasten: 160 W Ta: ca. - 5°C (Vers_20_10_08_Fa)

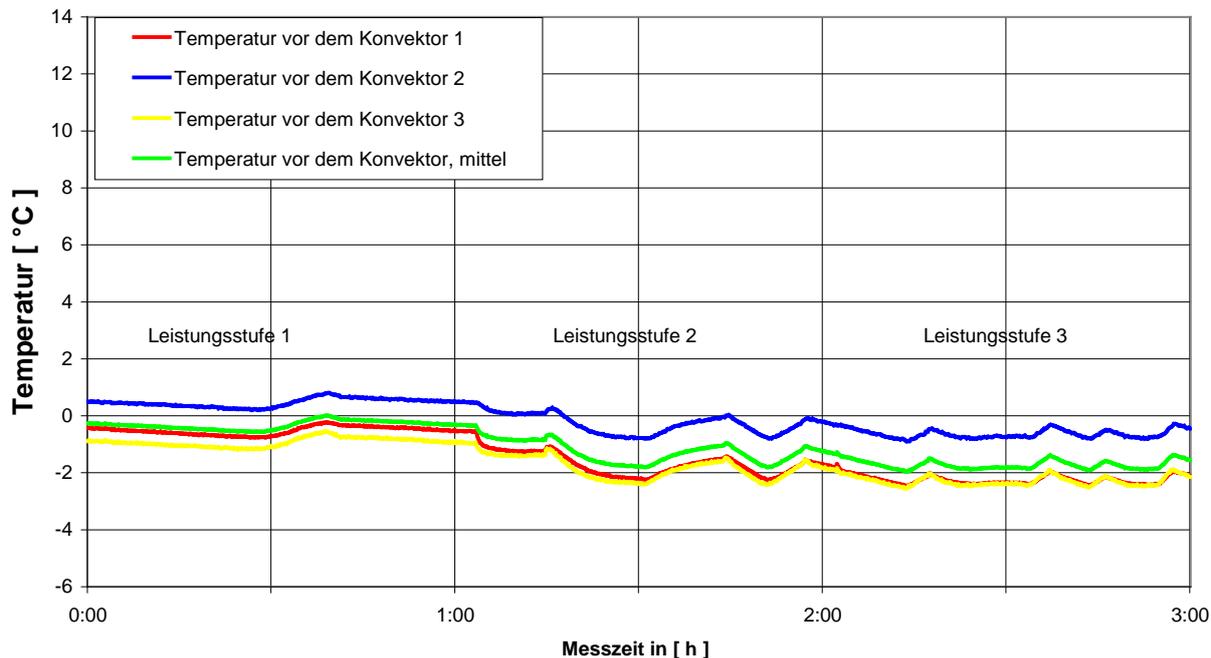


Abbildung 60 Messergebnisse Temperatur vor dem Konvektor, Heizfall

Kühlfall- Temperatur vor dem Konvektor
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 Innere Lasten: 160 W (Vers_23_09_08_Fa)

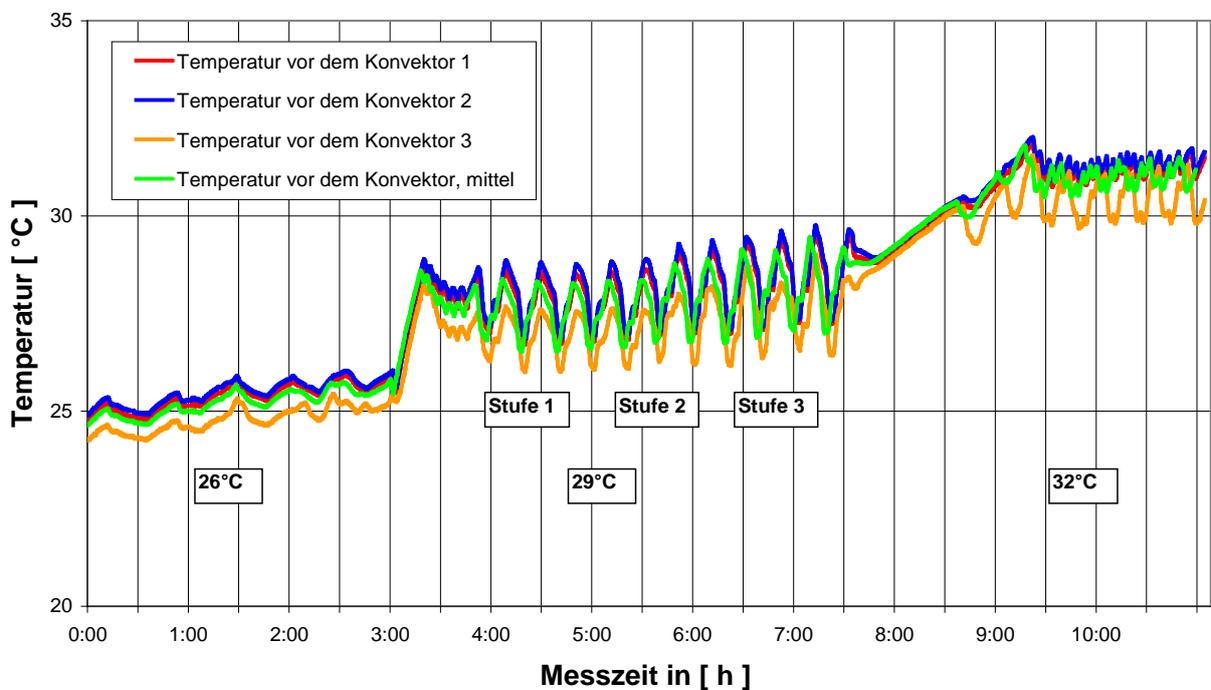


Abbildung 61 Messergebnisse Temperatur vor dem Konvektor, Kühlfall

5.5. wasserseitige Konvektorleistung

Die Konvektorleistung wird aus der Temperaturdifferenz zwischen der Vor- und Rücklauf­temperatur, der Wärmekapazität und dem Wasservolumenstrom ermittelt. Zur Berechnung der wasserseitigen Konvektorleistung ist folgende Formel anzuwenden:

$$\dot{Q}_{\text{Wasser}} = q_{V,W} * \rho_W * c_{p,w} * (\theta_{\text{vor}} - \theta_{\text{rück}})$$

Die Messergebnisse zur wasserseitigen Konvektorleistung für die drei untersuchten Lüftungsvarianten (Kapitel 3.3.) sind im Folgenden aufgeführt:

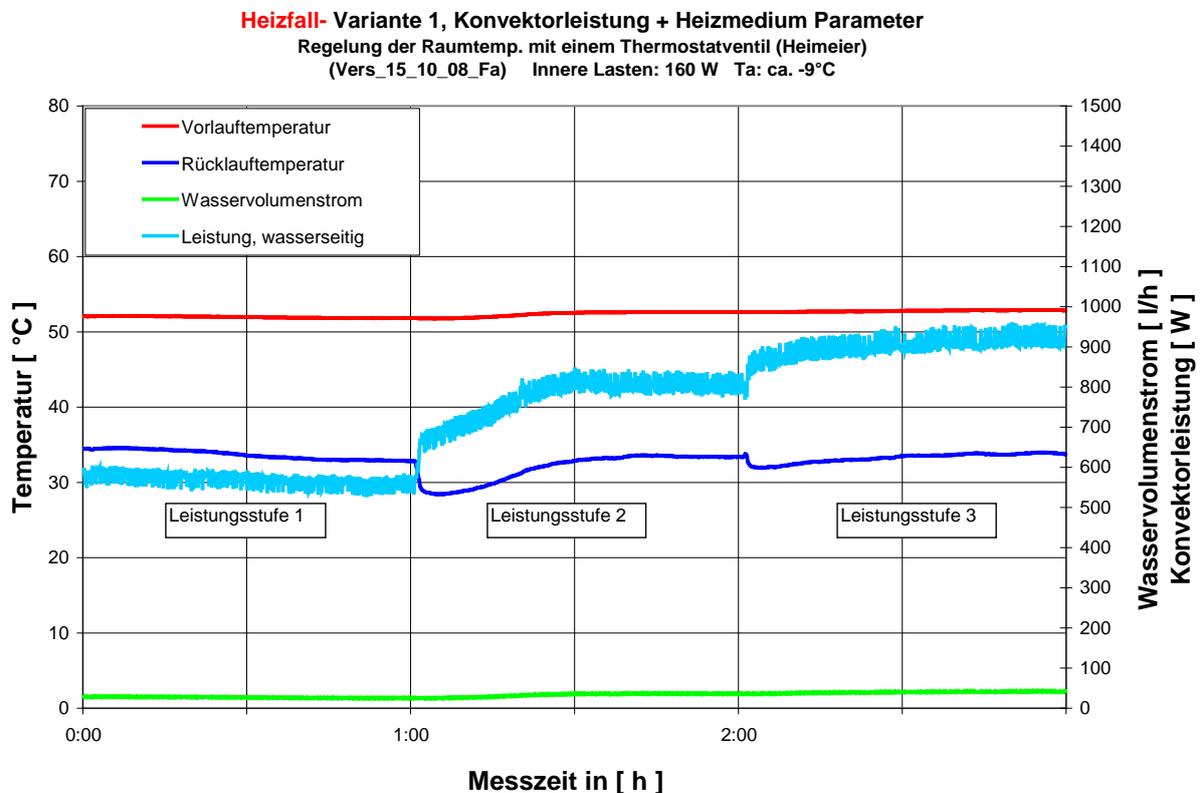


Abbildung 62 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall ($t_{\text{AU}}=-10^{\circ}\text{C}$), V1, Thermostatventil

Heizfall- Variante 2 - Konvektor- und Luftleistung + Heizmedium Parameter
 Regelung der Raumtemp. mit einem Thermostat_Ventil (Heimeier)
 Innere Lasten: 160 W T_a : ca. -10°C (Vers_22_10_08_Fa)

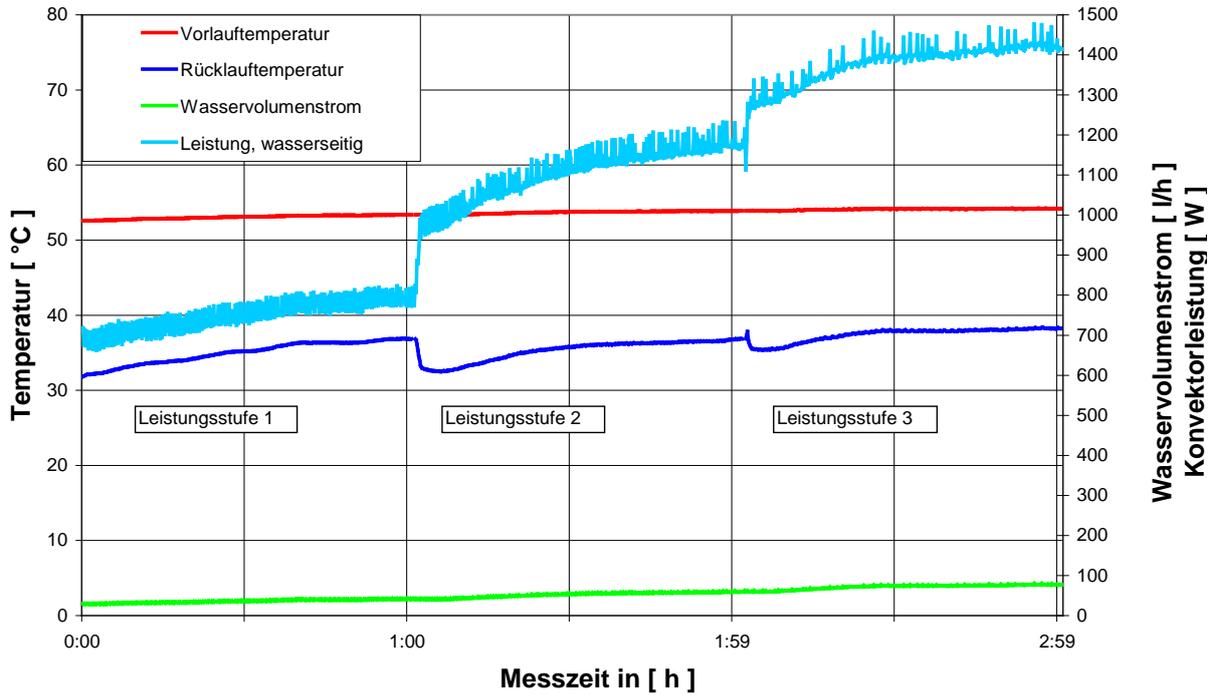


Abbildung 63 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall ($t_{AU}=-10^{\circ}\text{C}$), V2, Thermostatventil

Heizfall- Variante 3 Konvektorleistung + Heizmedium Parameter
 Regelung der Raumtemp. mit Thermostatventil
 (Vers_27_01_09_Fa), Innere Lasten: 160 W, $t_a=-10^{\circ}\text{C}$

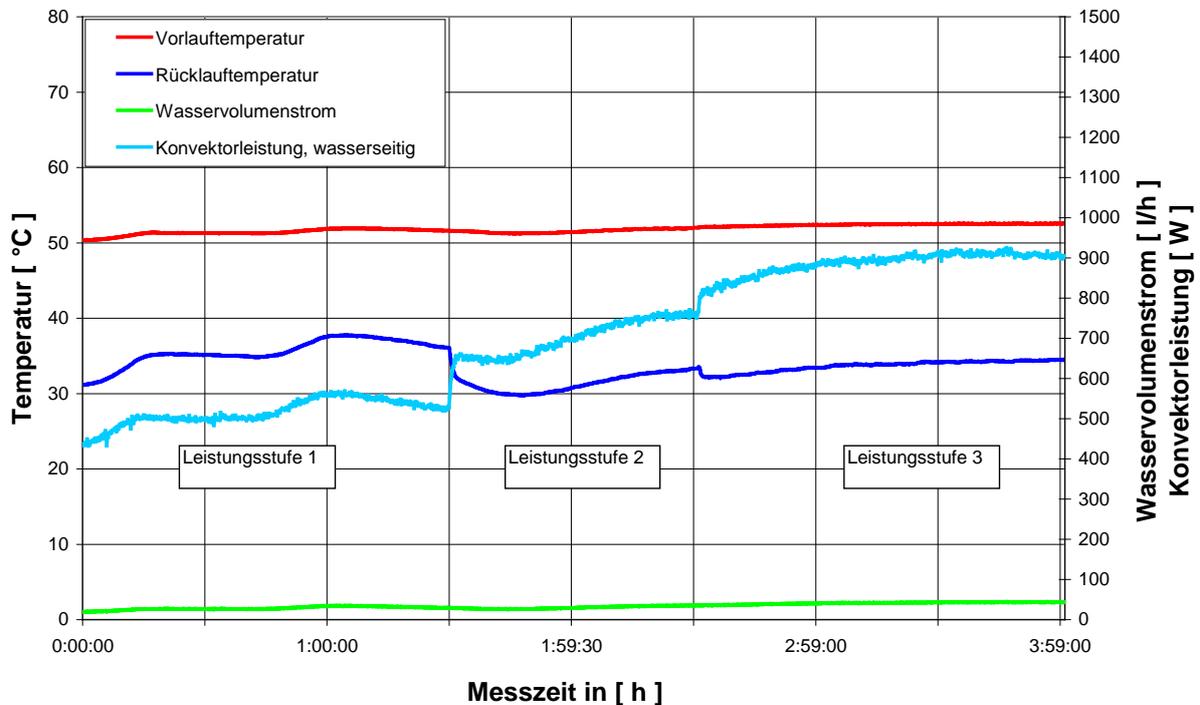


Abbildung 64 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall ($t_{AU}=-10^{\circ}\text{C}$), V3, Thermostatventil

Die am Gerät gemessene Vorlauftemperatur des Wassers bei Außentemperaturen von -10°C beträgt bei allen 3 Gerätevarianten etwa 52°C.

Bei den Messversuchen mit Gerätevariante 1 bis 3 ergibt sich eine Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur von durchschnittlich 18 Kelvin. Zu Abweichungen dieses Wertes kommt es, wenn die Wassermenge aufgrund des Öffnens oder Schließens des Thermostatventils variiert.

Bei den durchgeführten Messungen mit 2-Punkt-Regler ist die Temperaturspreizung bei größeren Wassermengen geringer als bei kleineren Wassermengen, denn die erforderliche Heizleistung zur Erreichung der Soll- Raumlufttemperatur ist gleich.

Die erforderlichen Konvektorleistungen sind bei Gerätevariante 1 und 3 geringer, weil bei beiden Geräten die Abwärme der Abluft genutzt und über eine Wärmerückgewinnung der Zuluft wieder zugeführt wird. Der Leistungsgewinn gegenüber der Gerätevariante 2 beträgt im Heizfall maximal 500 Watt.

Die Heiz- bzw. Kühlleistung ist bei Leistungsstufe 1 am geringsten und nimmt bei Leistungsstufe 3 Maximalwerte an. In der Versuchsreihe mit Gerätevariante 3 wird die Außenluft in jedem Fall durch den WRG geleitet. Der in Variante 3 eingebaute Bypass bleibt geschlossen und wird erst im Folgeprojekt DeMo regelungstechnisch eingebunden.

In Absprache mit den Kooperationspartnern werden die Konvektoren sowohl im Heiz- als auch im Kühlfall mit verschiedenen hohen Wasservolumenströmen durchflossen. Aus den ermittelten Ergebnissen wird die Leistungsabgabe des Konvektors ermittelt. In Abbildung 65 sind am Beispiel des Heizfalls die zur Leistungsermittlung verschiedenen hohen Wasservolumenströme (200 l/h, 150 l/h, 100 l/h) erkennbar. Die gewählten Volumenströme bewirken eine turbulente Strömung in den Rohrleitungen des Wärmetauschers und damit einen guten Wärmeübergang vom Wasser- zum Luftmedium.

Heizfall

An dieser Stelle wird die Konvektorleistung bei verschiedenen Temperaturen vor dem Konvektor (bzw. nach der Wärmerückgewinnung) für 3 Leistungsstufen ermittelt.

Folgendes Diagramm zeigt die Konvektorleistung in Abhängigkeit von verschiedenen eingestellten Vorlauftemperaturen und Wassermengen. Die Messung erfolgte unabhängig von der Regelung der Raumlufttemperatur. Die Vorlauftemperatur geht in die Berechnung der im Diagramm sichtbaren Übertemperatur ein.

$$\text{Übertemperatur} = \frac{(\theta_{\text{Vorlauf}} + \theta_{\text{Rücklauf}})}{2} - \frac{(\theta_{\text{vor dem Konvektor}} + \theta_{\text{mittl. Zuluft}})}{2}$$

In Abbildung 65 ist die Übertemperatur der Variante 3 bei einer Außentemperatur von -5°C und einer Temperatur von etwa 13°C nach der Wärmerückgewinnung dargestellt.

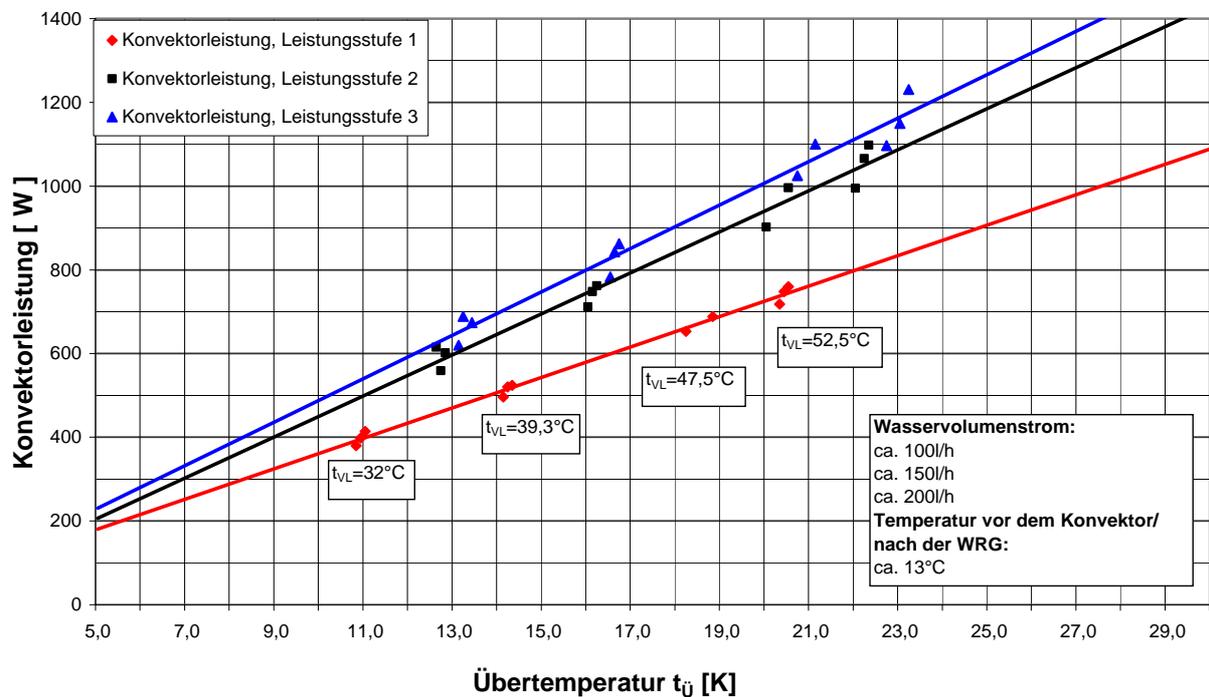


Abbildung 65 wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall ($t_{\text{AU}}=-5^{\circ}\text{C}$), V3

Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass mit steigender Vorlauftemperatur und bei Erhöhung der Leistungsstufe die Konvektorleistung ansteigt. Wird die Temperatur vor dem Konvektor bzw. nach der WRG größer, sinkt die Übertemperatur und eine geringere Leistung ist erforderlich.

In Abbildung 66 wird deutlich, dass die Erhöhung des Wasservolumenstroms (100 l/h, 150 l/h und 200 l/h) nur einen geringen Einfluss auf das Messergebnis und somit auf die Konvektorleistung hat. Entscheidender Parameter ist an dieser Stelle die Leistungsstufe, mit der das Gerät betrieben wird.

Heizfall- Variante 1 Konvektorleistung + Heizmedium Parameter
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 (Vers_02_10_08_Fa) Innere Lasten: 160 W, $t_{a}=-10^{\circ}\text{C}$

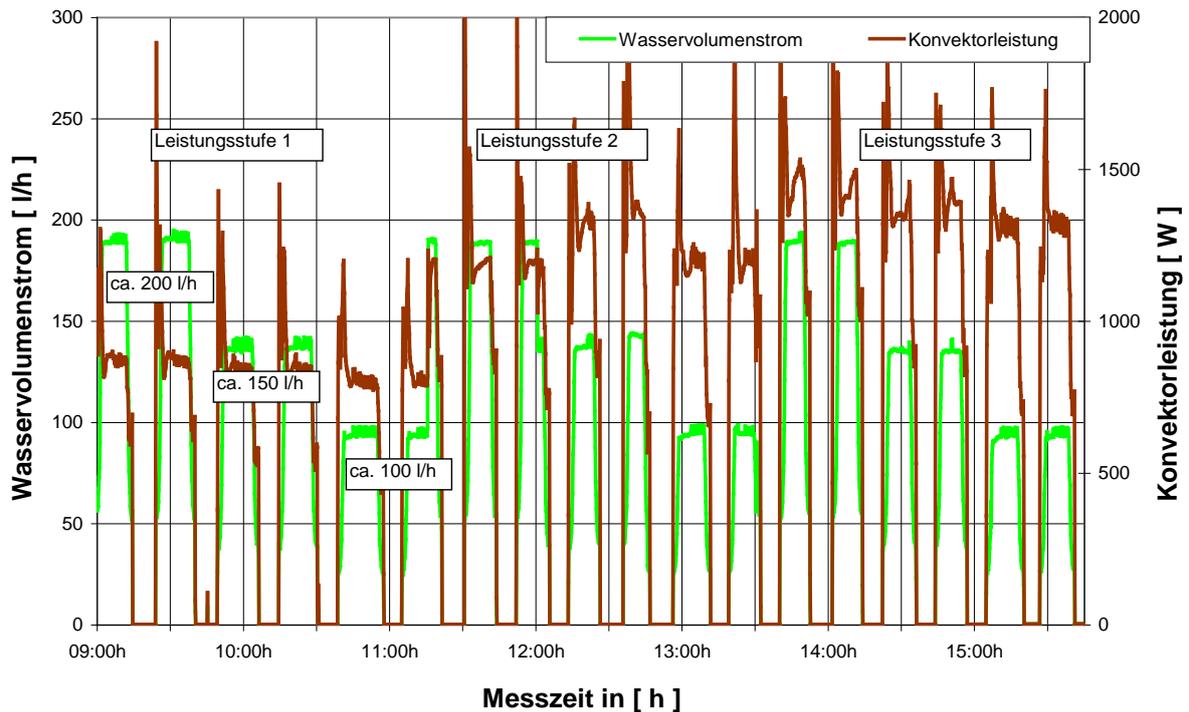


Abbildung 66 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall ($t_{AU}=-10^{\circ}\text{C}$), V1, 2-Punktregler

Kühlfall

Im Kühlfall werden die Messungen mit konstantem Wasservolumenstrom für die Leistungsstufen 1-3 durchgeführt. Bei ansteigender Außenlufttemperatur wird der Wasservolumenstrom erhöht, um die Kühllast zu decken (siehe Tabelle 13).

Die Regelung der Raumtemperatur erfolgt bei diesen Untersuchungen mit dem 2-Punkt-Regler, der bei der Auswertung der Messwerte den nicht linearen Kurvenverlauf verursacht.

Außenlufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]	Wasservolumenstrom [l/h]
26	ca. 100
29	ca. 150
32	ca. 200

Tabelle 13 Kühlfall

Kühlfall- Variante 1, Konvektorleistung + Heizmedium Parameter
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 (Vers_25_09_08_Fa) Innere Lasten: 160 W, $t_a=26, 29, 32^\circ\text{C}$

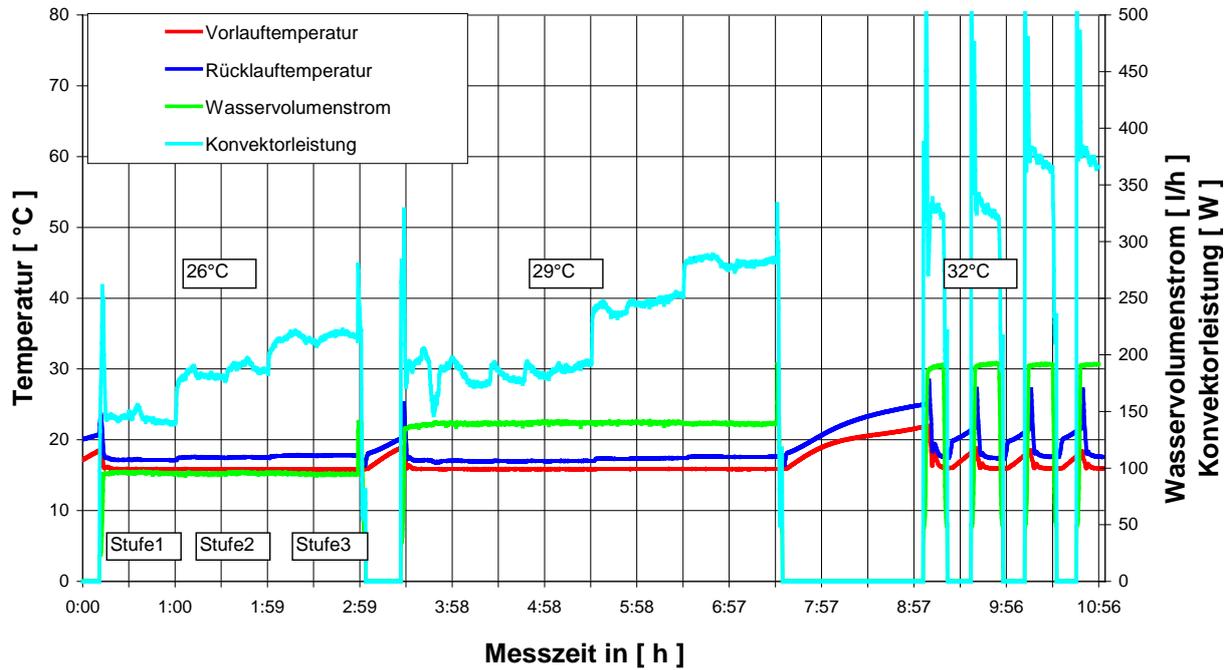


Abbildung 67 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Kühlfall ($t_{AU}= 26, 29, 32^\circ\text{C}$), V1, 2-Punktregler

Kühlfall- Variante 2- Konvektorleistung + Heizmedium Parameter
 Regelung der Raumtemp. mit Temperatur_Regler (Honeywell)
 Außenlufttemperaturen 26,29,32°C Innere Lasten: 160 W (Vers_23_09_08_Fa)

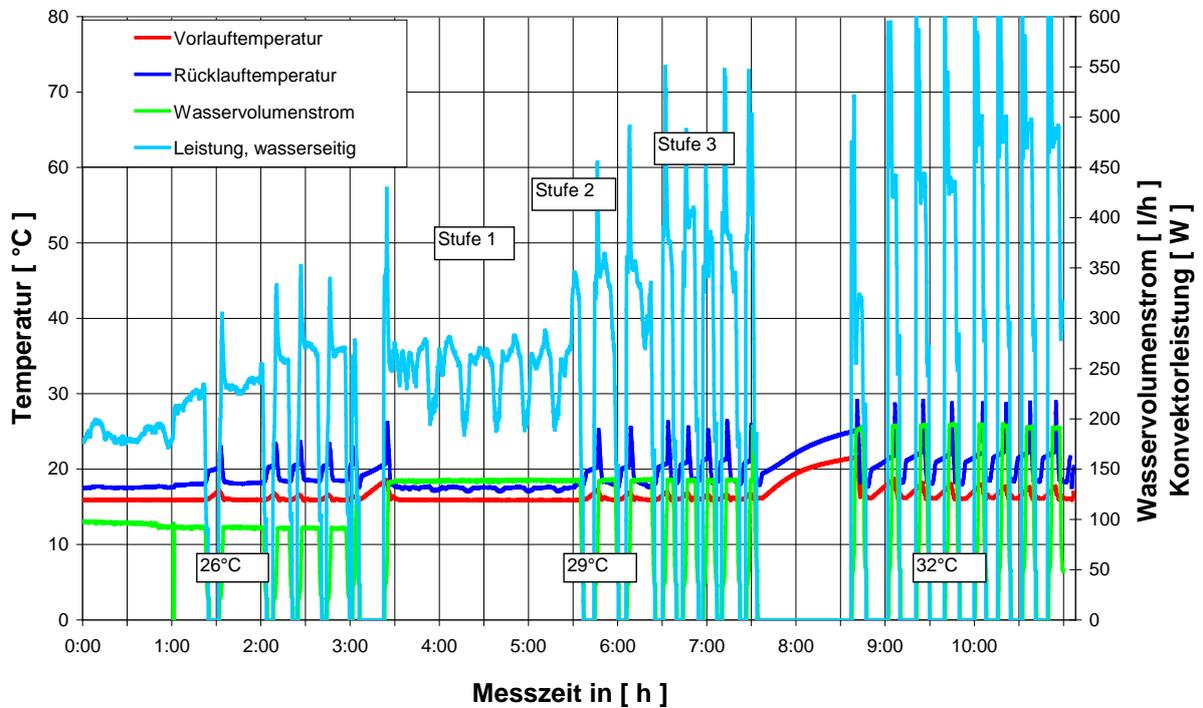


Abbildung 68 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Kühlfall ($t_{AU}= 26, 29, 32^\circ\text{C}$), V2, 2-Punktregler

Kühlfall- Variante: 3, Konvektorleistung + Heizmedium Parameter
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 (Vers_17_12_08_Fa) Innere Lasten: 160 W, $t_a=26, 29, 32^\circ\text{C}$

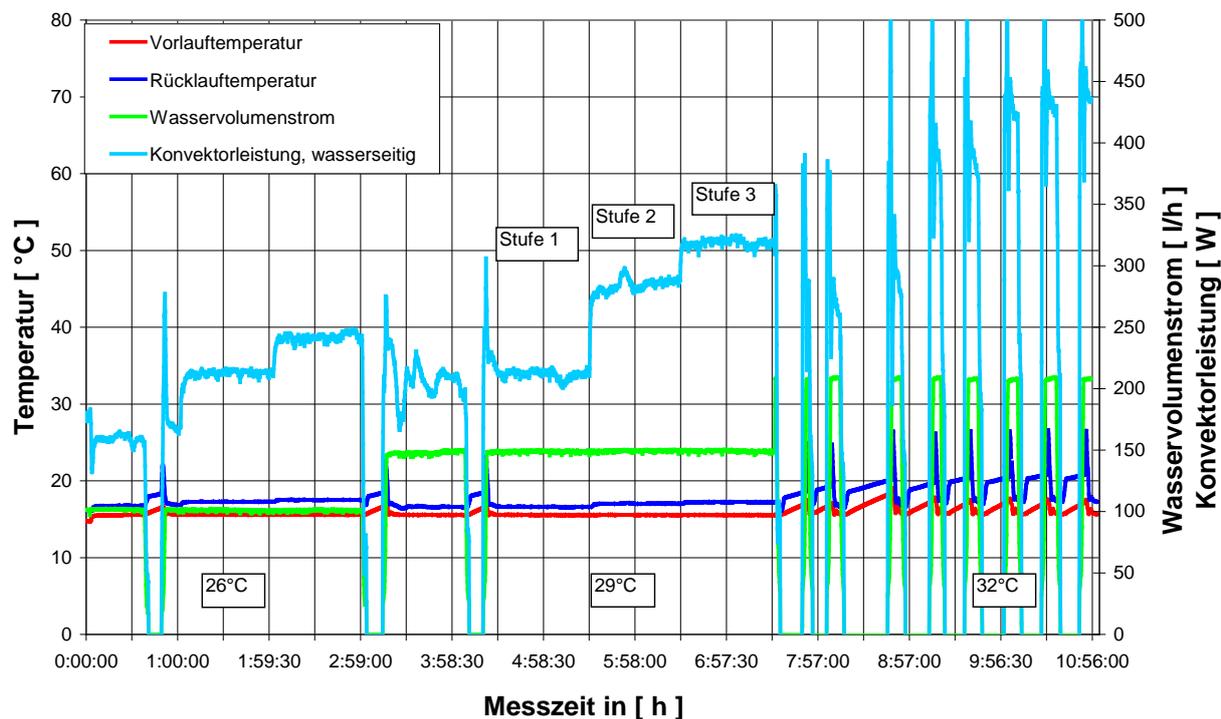


Abbildung 69 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Kühlfall ($t_{AU}= 26, 29, 32^\circ\text{C}$), V3, 2-Punktregler

Die Konvektoren der Gerätevarianten 1-3 werden im Kühlfall mit einer Medientemperatur im Vorlauf von 16°C durchströmt. Mit etwa 18°C fließt das Rücklaufwasser wieder in den Kreislauf der Klimaanlage zurück. Die Vor- und Rücklauftemperaturen werden direkt am Gerät gemessen.

Eine Reduzierung der erforderlichen Kühlenergie wird erreicht:

1. durch die Anhebung der Soll-Raumtemperatur von 20°C (Heizfall) für die im Folgenden aufgeführten Außentemperaturen:

$$t_{AU} = 26^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad t_{\text{Raum}} = 24^\circ\text{C}$$

$$t_{AU} = 29^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad t_{\text{Raum}} = 25^\circ\text{C}$$

$$t_{AU} = 32^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad t_{\text{Raum}} = 26^\circ\text{C}$$

Anmerkung: Damit erhöht sich auch der Komfort! Die Raumtemperatur sollte der Außentemperatur angepasst werden, damit es nicht zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommt. [5 und 7]

2. durch den Einsatz einer Wärmerückgewinnung, wie bei Gerätevariante 1 und 3 realisiert. Mit der Wärmerückgewinnung können bei Leistungsstufe 3 bis zu 100 W eingespart werden.

Die Kühlleistung ist bei der Leistungsstufe 1 am geringsten und steigt mit zunehmender Leistungsstufe.

Verlauf der Messkurven in den Leistungsdiagrammen

Ursache des nicht homogenen Verlaufs der Messkurven ist die 2-Punkt-Regelung der Raumlufttemperatur. Bei der 2-Punkt-Raumtemperaturregelung öffnet das Ventil am Konvektor (wenn Wärme- bzw. Kühlbedarf besteht) oder es schließt (die Soll-Raumtemperatur ist erreicht und es besteht kein Wärme- bzw. Kühlbedarf mehr). Bei einem Wasservolumenstrom von 200 l/h ist die Konvektorleistung höher als bei einem geringeren Volumenstrom, so dass der „Taktabstand“ (Ventil auf und zu) geringfügig größer wird.

Eine weitere Folge dieser Regelung ist das Einströmen unconditionierter Außenluft in den Raum bei geschlossenem Ventil. Abbildung 70 verdeutlicht diesen Effekt: bei einer Außenlufttemperatur von -5°C wird bei geschlossenem Ventil die Zuluft mit 3°C in den Raum geführt. Dieses Phänomen wird in der Realität durch den Einsatz des Reglers und entsprechende 3-Punkt-Ventile vermieden. Somit ist dieser Effekt nur auf diesen Versuchsaufbau beschränkt!

Messung der Fassade (Vers 29_07_08_Fa)
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 Temperaturen (Konvektor) Innere Lasten: 160 W, $t_{\text{AU}} = -5^{\circ}\text{C}$

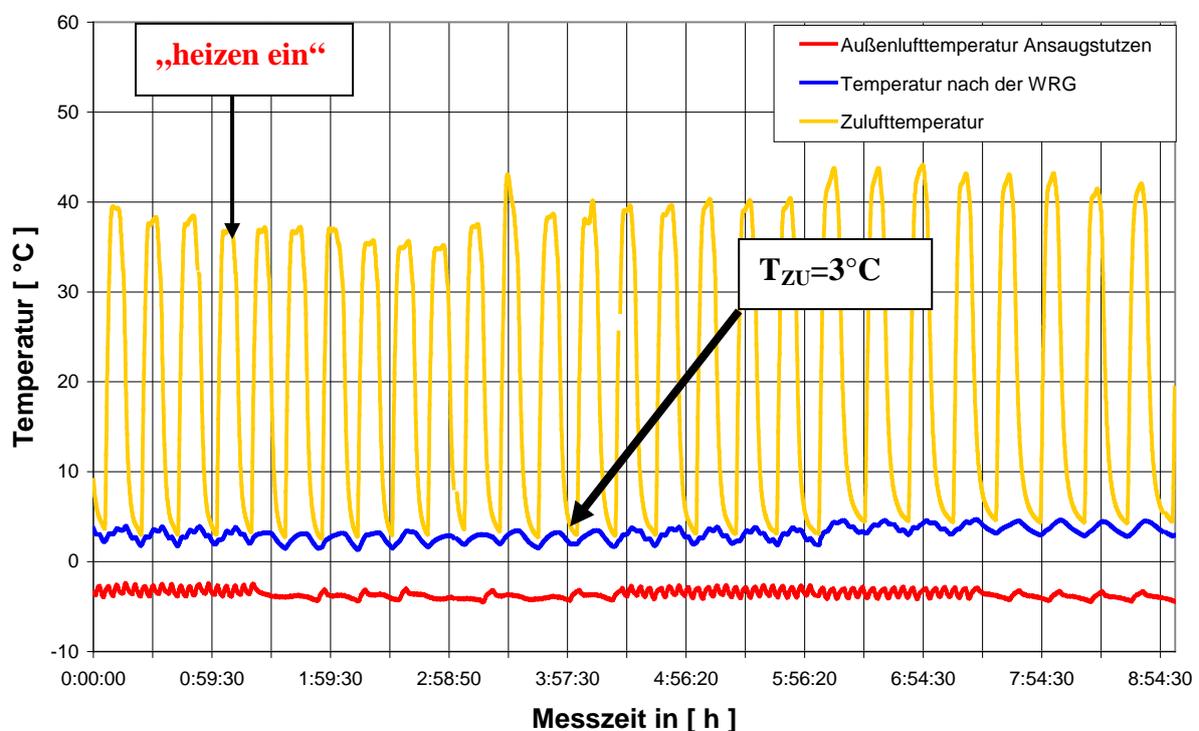


Abbildung 70 Diagramm Zulufttemperatur

Bei der Regelung der Raumlufttemperatur über das Thermostatventil mit Fernfühler hingegen stellt sich der erforderliche Volumenstrom im Konvektor ein. Die Zuluft wird immer konditioniert in den Raum eingeblasen.

Die Messergebnisse zur Bestimmung der wasserseitigen Konvektorleistung verdeutlichen, dass es sich unter realen Einbaubedingungen empfiehlt, die Raumlufttemperatur entweder über ein Thermostatventil oder über eine Einzelraumregelung zu steuern.

Vergleich Konvektorleistung mit 2-Punkt-Regler und Thermostatventil im Heizfall

Durch das temporäre Schließen des Ventils am Konvektor kommt es zu dem nicht homogenen Verlauf der Messreihen. Um die erforderliche Raumtemperatur zu erreichen, ist die Konvektorleistung bei gleicher Leistungsstufe bei den Versuchsreihen mit 2-Punkt-Regler höher als bei den Messreihen mit Thermostatventil. Werden die benötigten Leistungen aus dem Wärmeverbrauch je Stunde berechnet, sind die Konvektorleistungen bei beiden Messvarianten etwa gleich.

Am Beispiel von Variante 1 bei -10°C wird die Höhe der Leistung anhand einer Trendlinie für die beiden Messvarianten verdeutlicht (siehe Abbildung 71 und Abbildung 72).

Heizfall- Variante 1, Konvektorleistung + Heizmedium Parameter
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 (Vers_31_07_08_Fa) Innere Lasten: 160 W, $t_a = -10^{\circ}\text{C}$

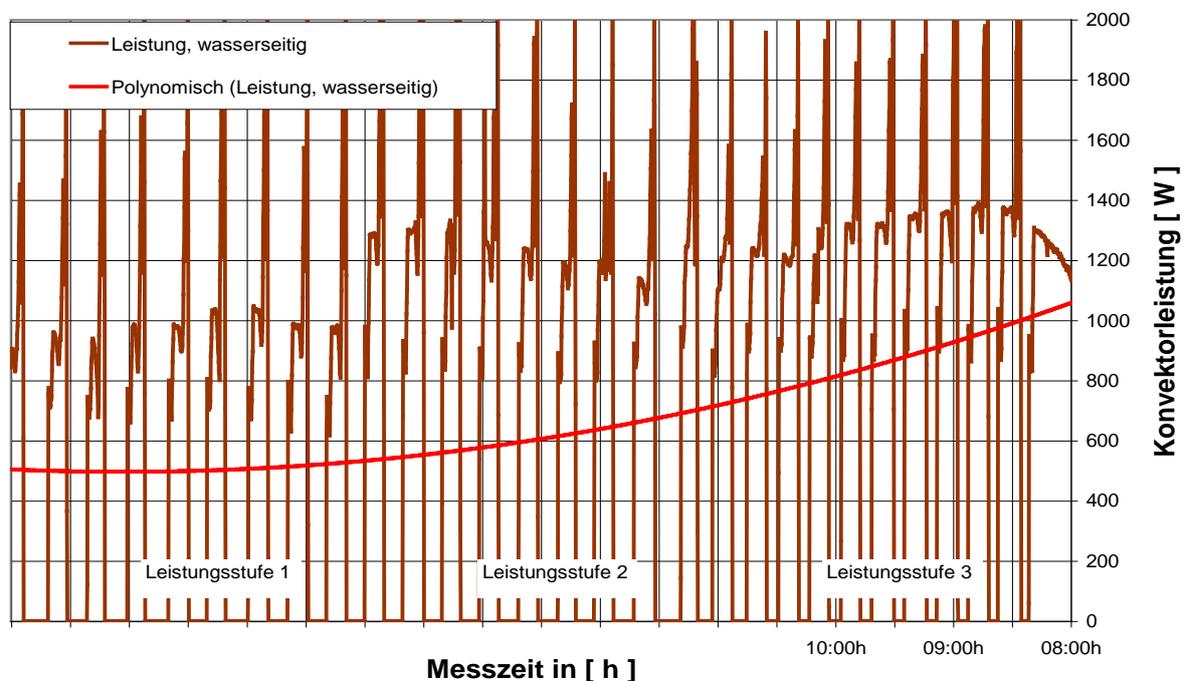


Abbildung 71 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, $t_{AU} = -10^{\circ}\text{C}$, V1, 2-Punktregler-Trendlinie

Heizfall- Variante 1, Konvektorleistung + Heizmedium Parameter
 Regelung der Raumtemp. mit einem Thermostatventil (Heimeier)
 (Vers_15_10_08_Fa) Innere Lasten: 160 W Ta: ca. -9°C

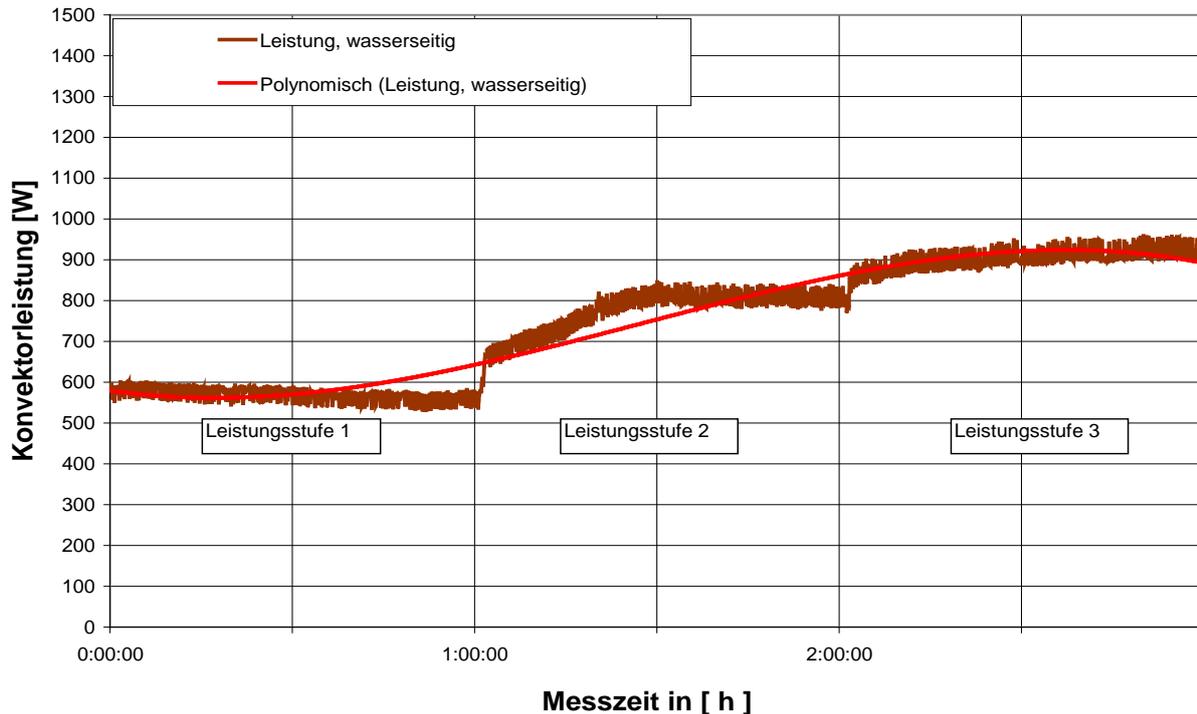


Abbildung 72 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, $t_{AU}=-10^{\circ}\text{C}$, V1, Thermostatventil- Trendlinie

Wasserseitige Konvektorleistungen Heizfall mit THV

Die Konvektorleistungen für den Heizfall werden aufgrund des homogenen Verlaufes der Messreihen aus den Versuchen mit dem Thermostatventil entnommen.

In den folgenden Tabellen sind die Leistungen aller drei Leistungsstufen für den Heizfall dargestellt. Die erzielten Ergebnisse aller Einbauvarianten sind Mittelwerte über eine Messdauer von jeweils 1 h pro Leistungsstufe! Die Wassermenge wird durch das Öffnen und Schließen des Thermostatventils geregelt und die Durchflussmenge stellt sich nach Bedarf ein.

Variante 1	Θ_{vorlauf}	Leistung [W]		
		Stufe1	Stufe2	Stufe3
-10°C	52°C	569	774	903
-5°C	46°C	426	560	714
0°C	43°C	317	439	578

Variante 2	Θ_{vorlauf}	Leistung [W]		
		Stufe1	Stufe2	Stufe3
-10°C	53°C	751	1104	1377
-5°C	49°C	671	977	1191
0°C	44°C	540	751	879

Variante 3	Θ_{vorlauf}	Leistung [W]		
		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
-10°C	52°C	516	697	885
-5°C	48°C	513	607	727
0°C	43°C	355	448	524

Tabelle 14 Konvektorleistungen im Heizfall für die Gerätevariante 1-3

Die Messergebnisse verdeutlichen, dass die erforderlichen Leistungen zur Gewährleistung einer Raumtemperatur von 20°C bei Gerätevariante 2 ohne Wärmerückgewinnung höher sind, als bei den Gerätevarianten 1 und 3 mit Wärmerückgewinnung. Die Höhe der aufgewendeten Leistungen der beiden letztgenannten Varianten ist in etwa gleich groß. Die geringfügigen Abweichungen sind in der Raumlufführung (Unterflurgerät mit senkrechtem Luftauslass und Deckengerät mit Luftauslass 30° unter der Decke), in der Anordnung der Messfühler im Raum und in der Höhe der Vorlauftemperatur begründet.

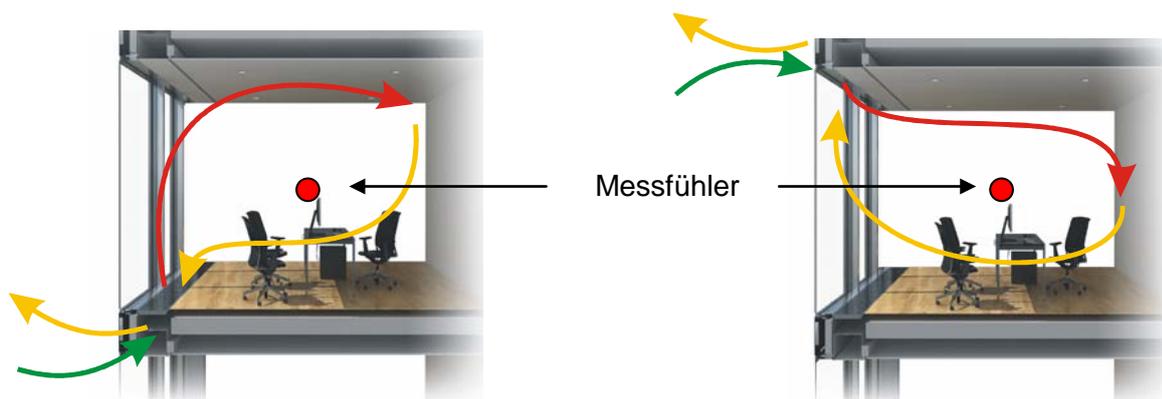


Abbildung 73 links: Luftführung Gerätevariante 1

Abbildung 74 rechts: Luftführung Gerätevariante 3 mit Messfühler für Raumlufttemperatur

Die wasserseitige Konvektorleistung kann außerdem unabhängig von der Raumlufftemperaturregulierung bestimmt werden. Dazu werden vor dem Konvektor Temperaturen für den Heizfall simuliert. Der Wasservolumenstrom wird mit 100 l/h angenommen, während die Höhe der Vorlauftemperatur variiert.

Mit der Eingabe dieser Parameter werden für die 3 Leistungsstufen nachstehende Leistungsergebnisse erzielt:

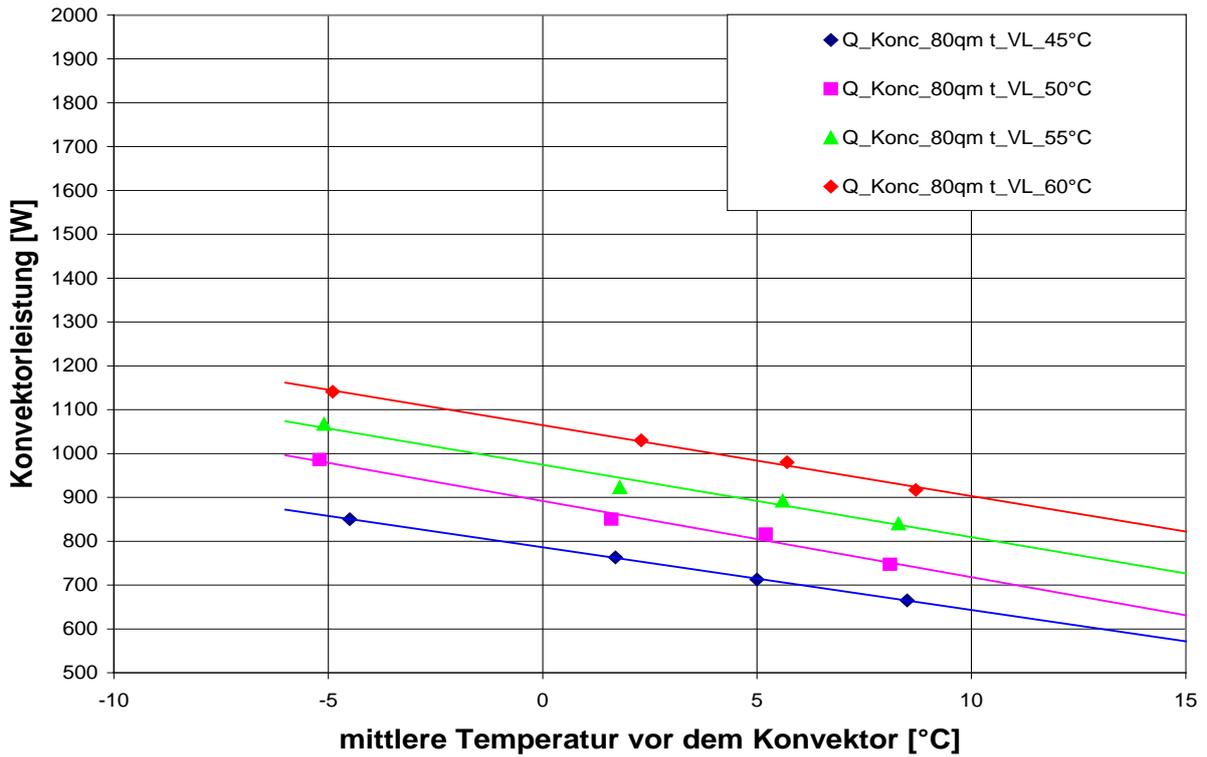


Abbildung 75 Konvektorleistung – 80m³/h

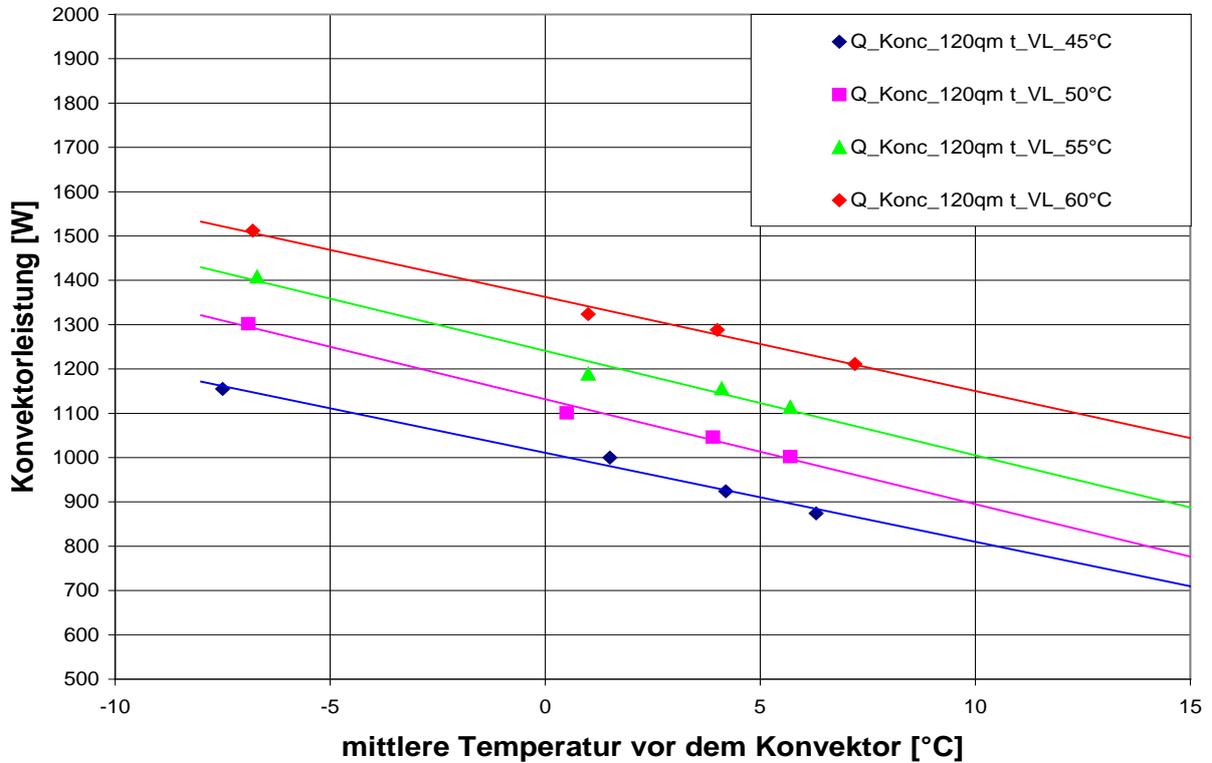


Abbildung 76 Konvektorleistung – 120m³/h

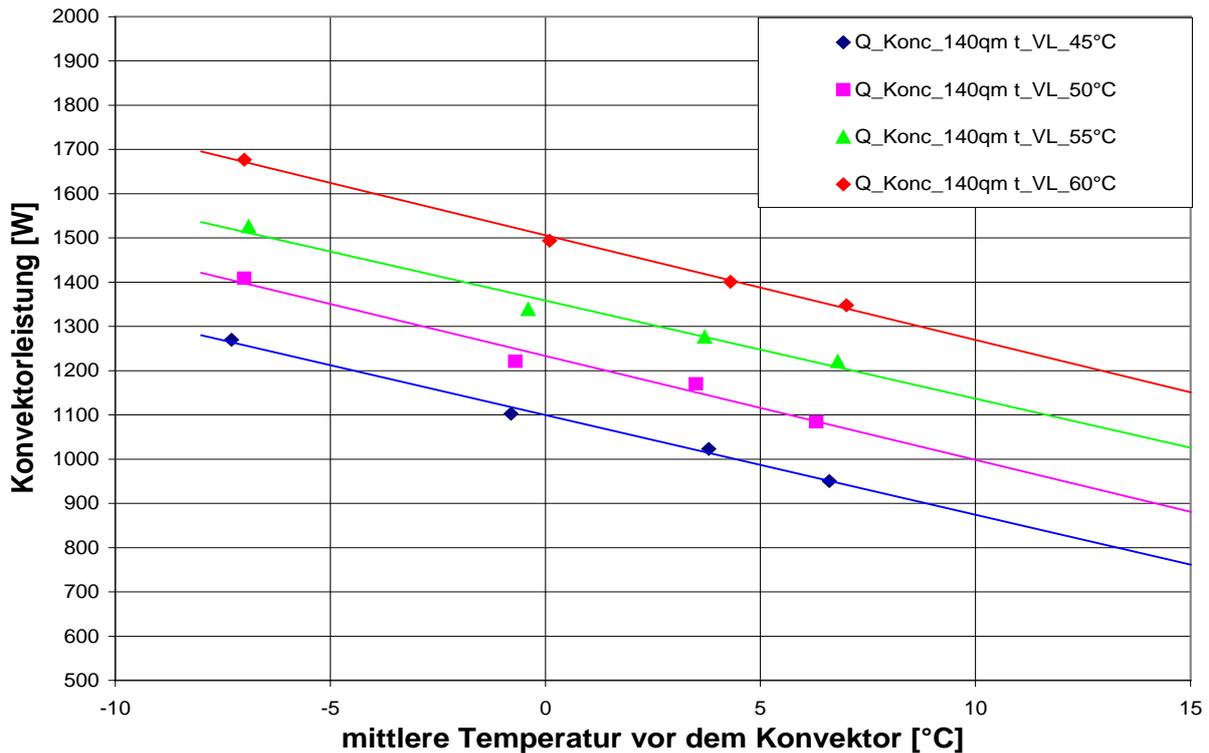


Abbildung 77 Konvektorleistung – 140m³/h

Werden die Leistungen der Geräte miteinander verglichen, muss berücksichtigt werden, dass sich in den Geräten 1 und 3 eine Wärmerückgewinnung befindet. Diese bewirkt, dass die erforderliche Heiz- bzw. Kühlleistung geringer als bei der Gerätevariante 2 ist. Die Einsparung an Heizleistung hängt vom Wärmerückgewinnungsgrad ab.

5.6. luftseitige Konvektorleistung

Die luftseitige Konvektorleistung wird aus der Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur vor dem Konvektor, evtl. nach der Wärmerückgewinnung, und der Temperatur hinter dem Konvektor, der Wärmekapazität und dem Luftvolumenstrom ermittelt.

$$\dot{Q}_{Luft} = q_{V,L} * \rho_L * c_{p,L} * (\theta_{vor\ Konvektor} - \theta_{nach\ Konvektor})$$

Das in der Klimakammer gemessene Ergebnis zur luftseitigen Konvektorleistung für die Variante 2 ist in Abbildung 78 dargestellt:

Heizfall- Variante 2 - Konvektorleistung, luftseitig
 Regelung der Raumtemp. mit einem Thermostat_Ventil (Heimeier)
 Innere Lasten: 160 W Ta: ca. -10°C (Vers_22_10_08_Fa)

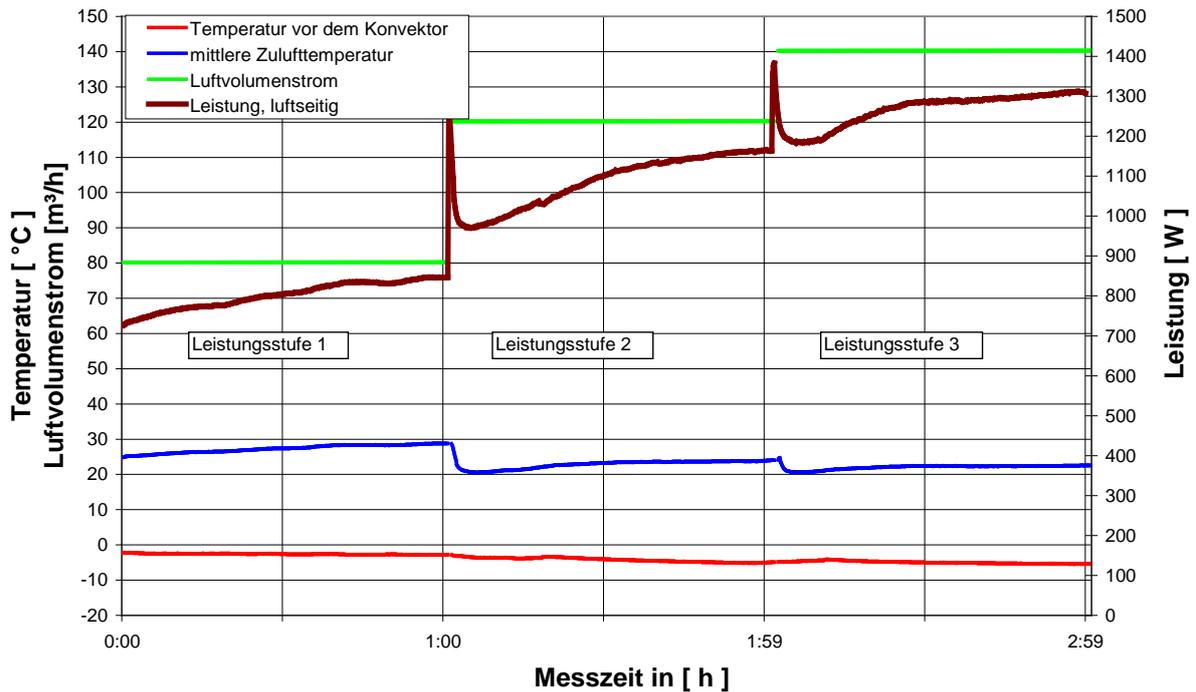


Abbildung 78 Diagramm luftseitige Konvektorleistung; Heizfall ($t_{AU}=-10^{\circ}\text{C}$)

5.7. Konvektorleistungen, wasser- und luftseitig, im Vergleich

Bei idealen Messbedingungen und exaktem Aufbau der Messtechnik sowie einer höheren Anzahl an Messfühler liegen die Ergebnisse der luft- und wasserseitigen Konvektorleistung übereinander.

Die Übereinstimmung der Konvektorleistungen ist bei den Leistungsstufen 1 und 2 am genauesten (Abbildung 79). Bei Leistungsstufe 3 ist die Abweichung etwas größer, aufgrund höherer Verwirbelungen und Luftgeschwindigkeiten der konditionierten Zuluft am Luftaustritt (eine größere Luftmenge wird durch die gleich bleibende Luftaustrittsöffnung geführt). Auf Grund der höheren Luftgeschwindigkeiten erhöht sich die Messungenauigkeit.

Eine in die Berechnung der Luftleistung eingehende Messungenauigkeit hinsichtlich der beförderten Luftmenge wird aufgrund der Ermittlung mittels Tracergas ausgeschlossen.

Die Abweichungen der Konvektorleistungen sind im Heizfall größer als im Kühlfall:

Im Kühlfall ist die aufsteigende, kühle Luft durch den Konvektor schwerer als die Umgebungsluft. Dadurch bilden sich eine stabilere Luftschicht und eine gleichmäßige, vertikale Lufttemperaturverteilung aus.

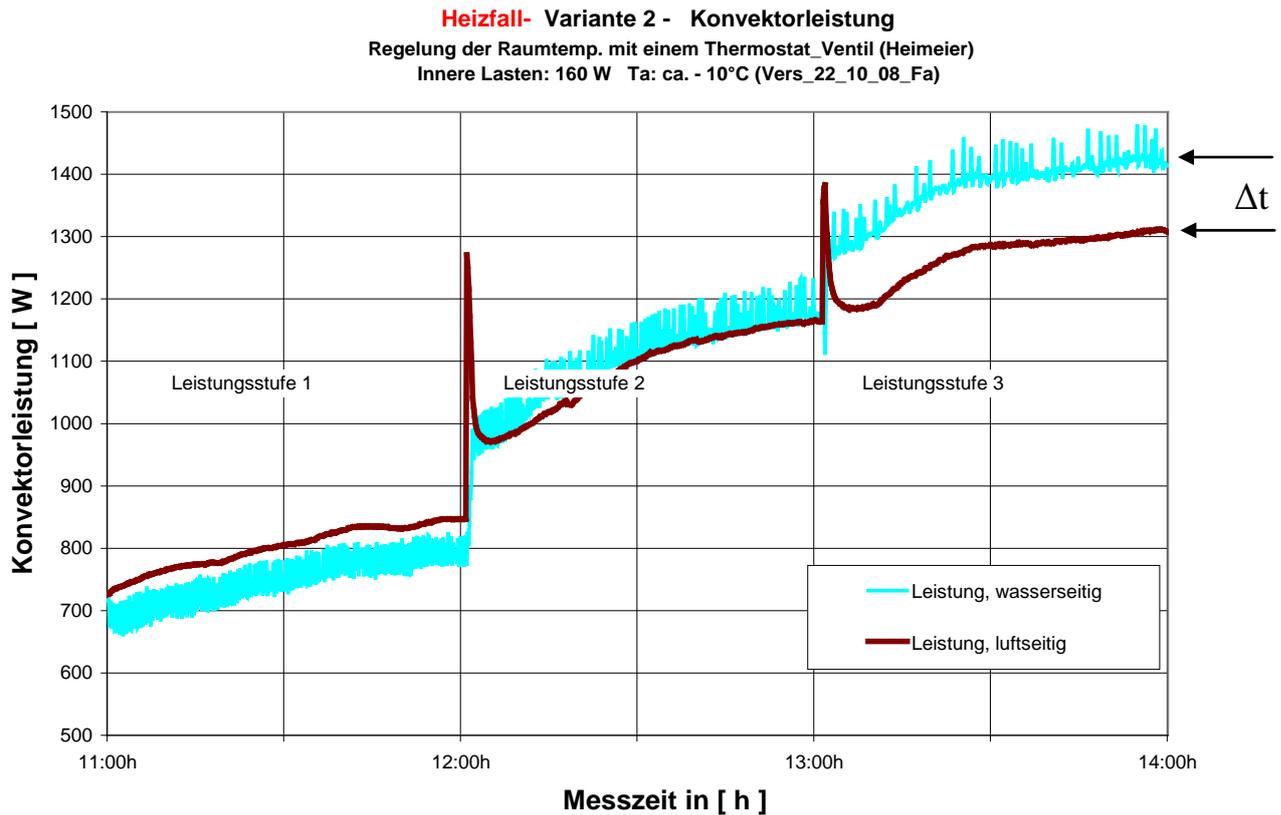


Abbildung 79 Heizfall- Konvektorleistung Lüfterstufe 1-3, V2

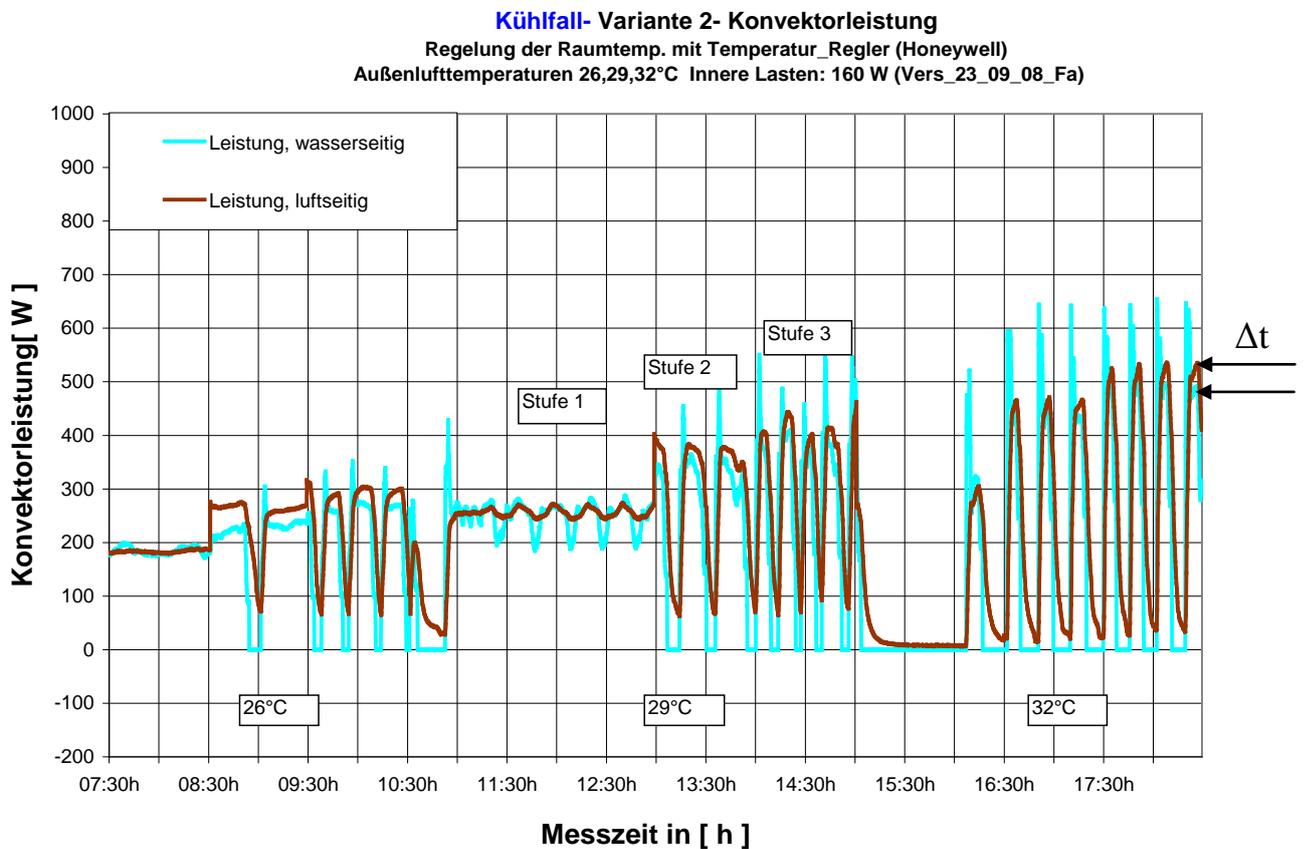


Abbildung 80 Kühlfall- Konvektorleistung Lüfterstufe 1-3, V2

5.8. Bestimmung der Ventilatorleistung

Die Summe der Leistungen des Zuluft- und Fortluftventilators (nur Wirkleistung) ist für den Heiz- und Kühlfall in den folgenden Tabellen aufgeführt. Da die Ventilatoren in allen 3 Gerätevarianten baugleich sind, gelten die ermittelten Leistungsdaten für alle gelieferten dezentralen Lüftungsgeräte. Die Messung erfolgt bei der Einbauvariante 1.

Ventilatorleistung [W]			
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
-10°C	11	20	30
-5°C	11	22	31
0°C	12	23	33

Ventilatorleistung [W]			
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
26°C	11	20	29
29°C	11	21	30
32°C	11	22	31

Tabelle 15 Ventilatorleistung

5.9. Wärmerückgewinnung

Bei der Wärmerückgewinnung handelt es sich um ein Verfahren zur Wiedernutzbarmachung einer thermischen Energie aus einem laufenden Prozess mit dem Ziel, den Primärenergieverbrauch zu minimieren. Bezogen auf die Wärmerückgewinnung der Lüftungsgeräte bedeutet dies, dass der Energieinhalt der Abluft genutzt wird, um die Zuluft zu temperieren. In der kalten Jahreszeit wird somit die Zuluft erwärmt und in der warmen Jahreszeit gekühlt.

Für die Einbauvariante 1 wird für den Heiz- und für den Kühlfall der Wärmerückgewinnungsgrad des Lüftungsgerätes aus dem folgenden Verhältnis ermittelt:

$$\varphi = \frac{\text{Temperatur}_{\text{nach dem Luft-Luft-Wärmetauscher}} - \text{Temperatur}_{\text{am Ansaugstutzen}}}{\text{Temperatur}_{\text{Abluft}} - \text{Temperatur}_{\text{am Ansaugstutzen}}}$$

Um möglichst realistische Messergebnisse zu erhalten, erfolgen die Messreihen im Heizfall mit einer Thermostatventilregelung (TVR) und im Kühlfall mit einer 2-Punkt-Regelung.

Bei dem Wärmerückgewinner handelt es sich um einen Plattenwärmetauscher. Dieser Wärmetauscher besteht aus wellenförmigen Platten, die mit Zwischenräumen versehen sind.

In ihnen fließt abwechselnd das Wärme aufnehmende und das Wärme abgebende Medium und sorgt somit für einen thermischen Energieaustausch.

Die folgenden Wärmerückgewinnungsgrade sind in dem Forschungsprojekt für die Einbauvariante 1 ermittelt worden. Ferner ist eine grafische Darstellung des WRG-Grades bei den Außenlufttemperaturen 0°C, -5°C und -10°C und jeweils bei den Leistungsstufen 1 bis 3 in Abbildung 81 und Abbildung 82 verdeutlicht.

Wärmerückgewinnungsgrad [%]			
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
-10	43	38	37
-5	43	38	37
0	42	38	37

Wärmerückgewinnungsgrad [%]			
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
26	39	33	30
29	39	34	32
32	37	32	31

Tabelle 16 Wärmerückgewinnungsgrad , V1

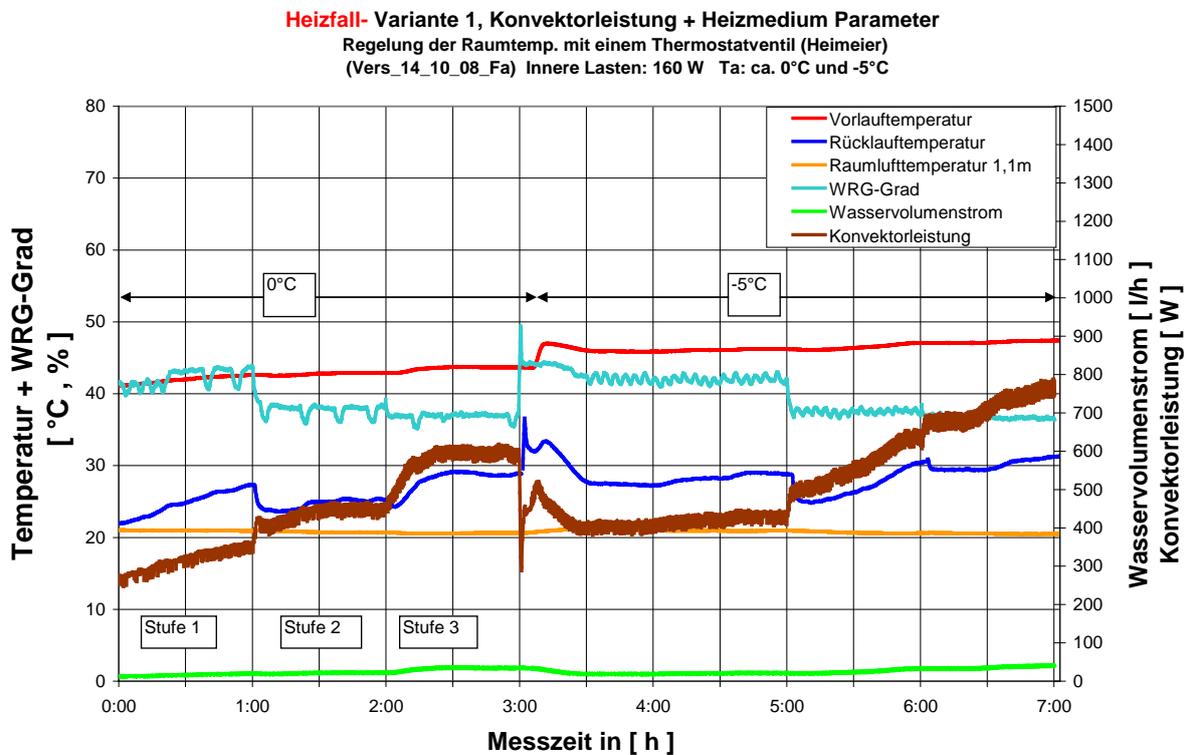


Abbildung 81 WRG- Grad bei 0°C und -5°C, Variante 1

Heizfall- Variante 1, Konvektorleistung + Heizmedium Parameter
 Regelung der Raumtemp. mit einem Thermostatventil (Heimeier)
 (Vers_15_10_08_Fa) Innere Lasten: 160 W Ta: ca. -9°C

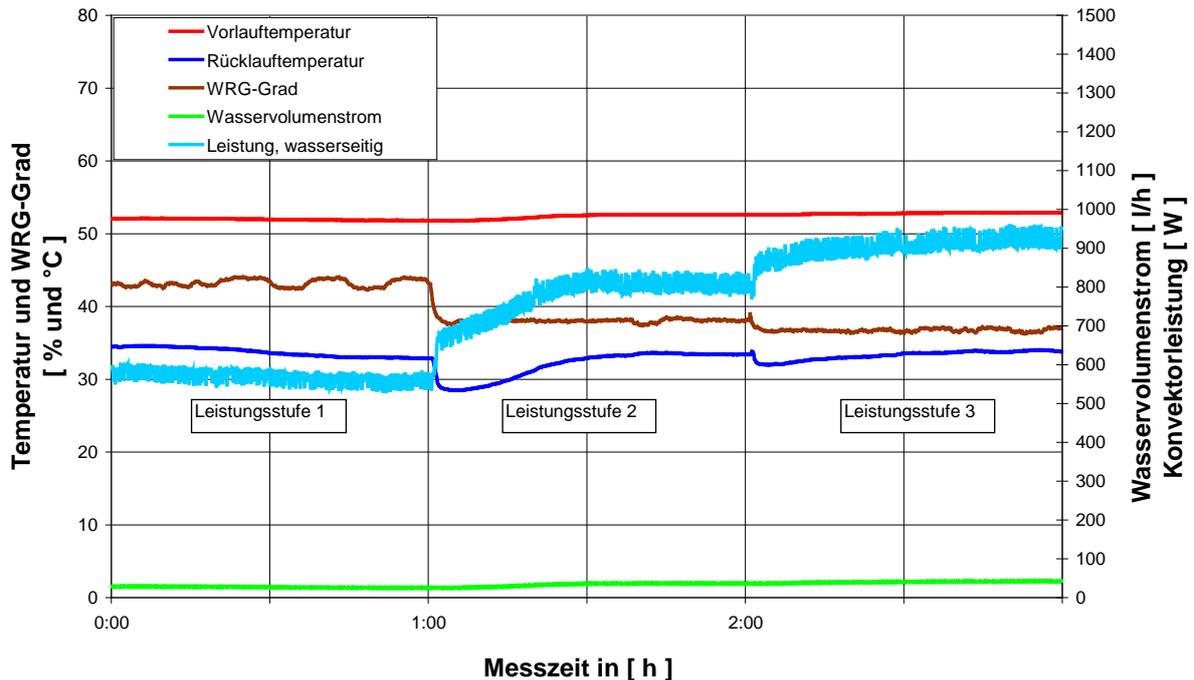


Abbildung 82 Diagramm WRG- Grad bei -10°C, Variante 1

Grundsätzlich liegen die Wärmerückgewinnungsgrade von dezentralen Lüftungsanlagen unter den der Werte zentraler Anlagen (diese erreichen 80 % und mehr). Da der in diesem Forschungsprojekt verwendete Plattenwärmetauscher ein Prototyp und mitten in der Entwicklungsphase ist, sind die Auswertungen zum Wärmerückgewinnungsgrad zum Messzeitpunkt noch nicht aussagekräftig. Der nachgewiesene, geringe Wärmerückgewinnungsgrad von ca. 40 % ist inzwischen durch eine bauliche Weiterentwicklung des Wärmetauschers auf ca. 60 % erhöht worden. Dieser neu entwickelte Wärmetauscher stand uns bei den abschließenden Messungen jedoch noch nicht zur Verfügung!

5.10. Schalldruckpegelmessung

Das Ergebnis der A-bewerteten Schalldruckpegelmessung auf der Außenseite der Fassade, bei dem verschiedene Ausführungen des Fortluftauslasses untersucht wurden, wird in der folgenden Abbildung deutlich. Die Schalldruckpegelmessung mit dem runden Fortluftauslass (magenta) schneidet in der Klimakammer zwar etwas besser ab - der Unterschied zum eckigen Luftauslass (blau) ist jedoch so gering, dass er vernachlässigt werden kann.

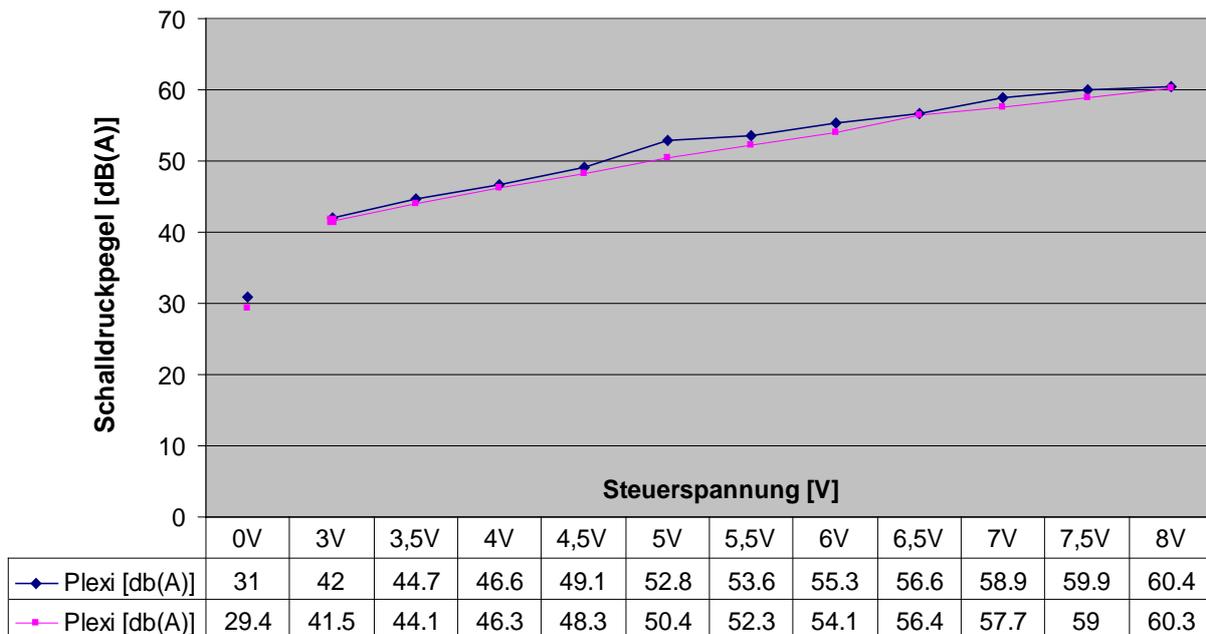


Abbildung 83 Auswertung Schalldruckpegelmessung, außen

Die Ergebnisse der A-bewerteten Schalldruckpegelmessung auf der Innenseite der Klimakammer verdeutlichen, dass der Betrieb der Geräte unter den in Kapitel 4.3.5. beschriebenen Messbedingungen bis maximal Leistungsstufe 2 innerhalb des zulässigen Schalldruckpegels liegt. Ab Leistungsstufe 3 (140 m³/h) wird der Grenzwert überschritten und der Gesamtkomfort des Raumes nimmt ab!

Dazu muss allerdings ergänzt werden, dass das 2-Personen-Büro unter der Annahme von einem mindestens erforderlichen Außenluftvolumenstrom von 40 m³/(h*Pers.), gemäß der DIN EN 13779:2007 Tabelle A 11 und Kategorie IDA 2 (mittlere Raumluftqualität), bei Leistungsstufe 2 (120 m³/h) mehr als ausreichend mit Frischluft versorgt wird.

Bei einem Standard-2-Personen-Büro (Einzelbüro) ist die eingeschaltete Leistungsstufe 1 ausreichend, um die geforderte Raumluftqualität zu gewährleisten. Die akustische Anforderung mit empfohlenen 30 - 40 dB(A), gemäß DIN EN 13779:2007 Tabelle A 12, wird somit erfüllt.

Die in der Klimakammer ermittelte Nachhallzeit von 0,4 s entspricht einer äquivalenten Absorptionsfläche von 11,6 m² Sabine. Mit einem Richtungsfaktor von 1,4 m und dem Radius von 1,5 m ergibt sich eine Raumdämpfung von ca. 4 dB. Eine allgemeine übliche Raumdämpfung beträgt 7 dB, so dass die akustischen Anforderungen eingehalten werden [37].

Lüfterstufe	A-bewerteter Schalleistungspegel [dB(A)]	Schalldruckpegel [dB(A)] incl. 4 dB Raumdämpfung
1	34,2	30,2
2	43,5	39,5
3	47,0	43,0

Tabelle 17 Schalleistung, Schalldruckpegel

Die Messung des Schalldruckpegels in der Klimakammer ist keine Normmessung. Deshalb können die Werte geringfügig abweichen (max. um ca. 2 dB(A))

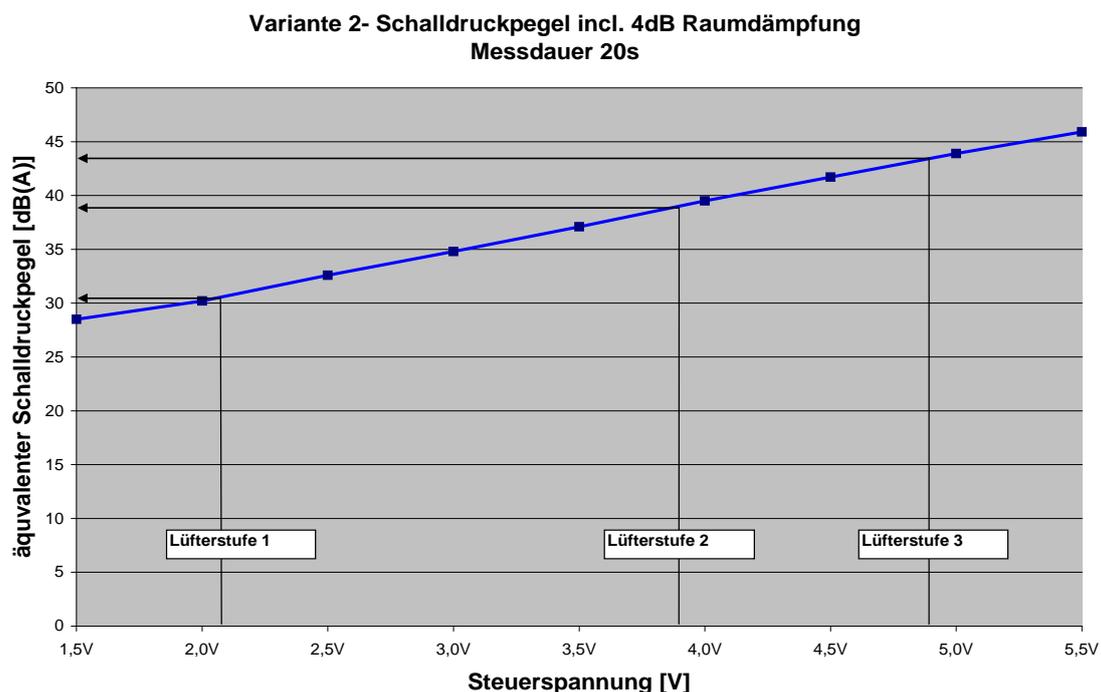


Abbildung 84 Diagramm Auswertung Schalldruckpegelmessung V2, innen

5.11. Verhalten bei windstill, Winddruck und Windsog

Das Betriebsverhalten der Ventilatoren bezüglich der Drehzahlen und der elektrischen Leistungen und das Verhalten der Lüftungsklappen am Gerät wird an der Einbauvariante 1 bei den Außenbedingungen: windstill, Winddruck und Windsog auf die Fassade untersucht.

Am Gerät befinden sich eine Absperr- und eine Rückschlagklappe in der Fortluftöffnung. Die motorische Absperrklappe ist bei eingeschaltetem Lüftungsgerät geöffnet. Bei abgeschaltetem Gerät oder bei Stromausfall ist die Klappe geschlossen. Die Rückschlagklappe verhindert die Rückströmung der Fortluft in den Raum.

Bei starkem Winddruck auf die Fassade und bei Leistungsstufe 1 wird die Rückschlagklappe fast geschlossen, so dass es zur Verengung des Luftaustrittsquerschnitts kommt.

Die Auswertung des Betriebsverhaltens des Zu- und Abluftventilators zeigt, dass der Luftvolumenstrom geregelt und damit stabil gehalten wird. Ist bei Winddruck auf die Fassade eine geringere Drehzahl des Zuluftventilators erforderlich, muss der Fortluftventilator „mehr arbeiten“. Bei Windsog auf die Fassade verhalten sich die Ventilatoren umgekehrt.

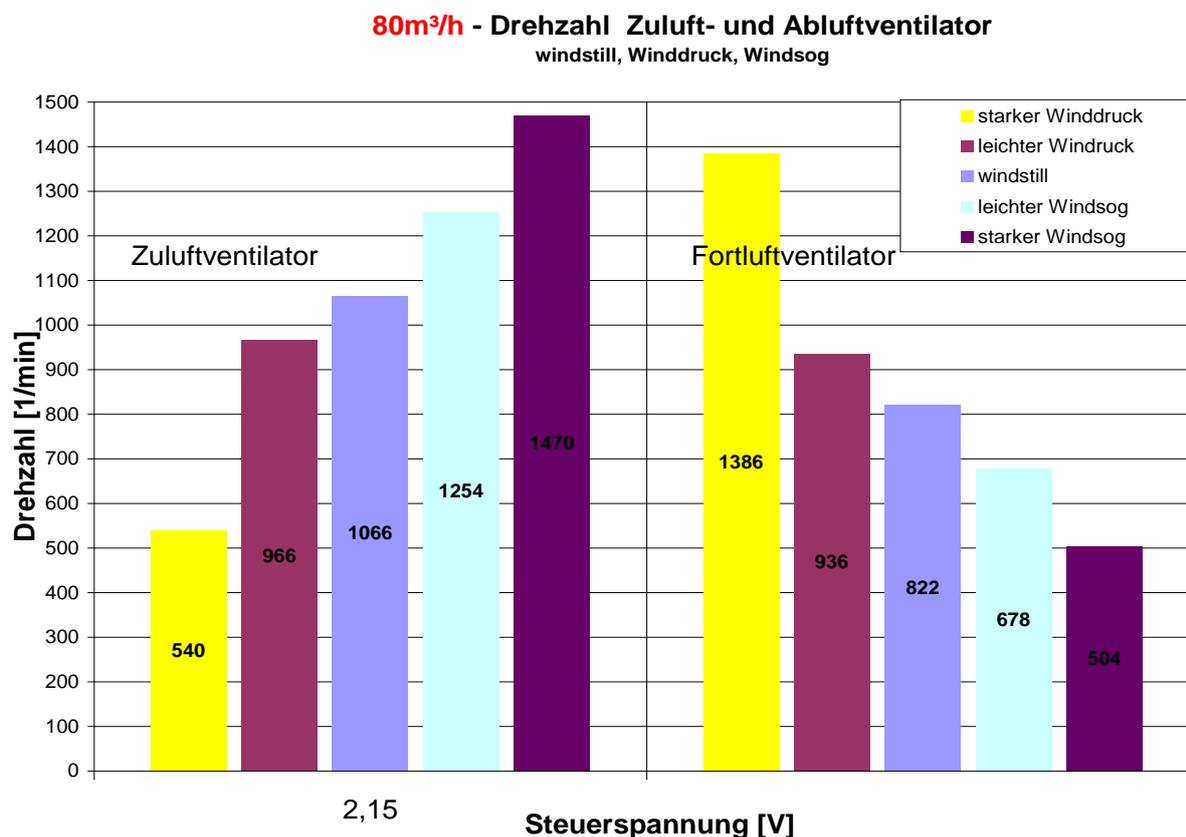


Abbildung 85 Diagramm Drehzahlen Zu- und Abluftventilator 80m³/h, el. Leistung

120m³/h - Drehzahl Zuluft- und Abluftventilator
windstill, Winddruck, Windsog

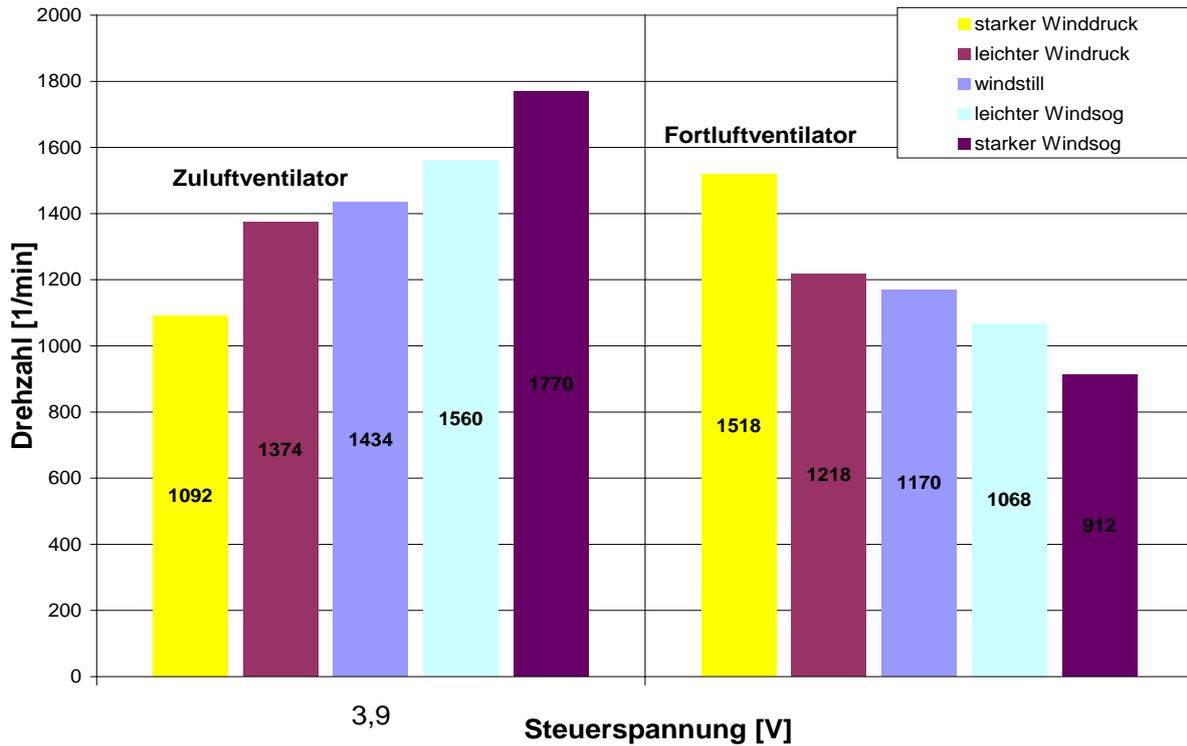


Abbildung 86 Diagramm Drehzahlen Zu- und Abluftventilator 120m³/h, el. Leistung

140m³/h - Drehzahl Zuluft- und Abluftventilator
windstill, Winddruck, Windsog

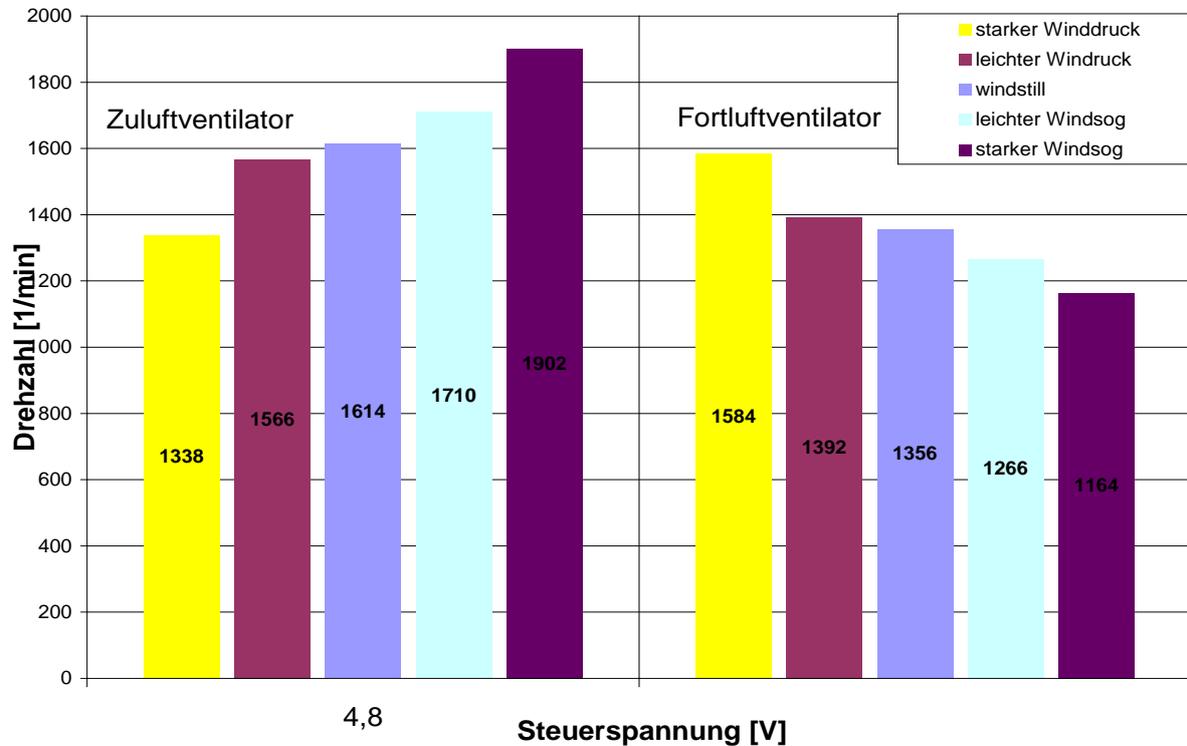


Abbildung 87 Diagramm Drehzahlen Zu- und Abluftventilator 140m³/h, el. Leistung

Das VDMA-Einheitsblatt 24390 (März 2007) „Dezentrale Lüftungsgeräte, Güte- und Prüfrichtlinie“ /2/ stellt folgende Anforderung an dezentrale Lüftungsgeräte:

- Druck- und Volumenstrom-Konstantregelung für Fassadendrucke von +200 Pa bis -200 Pa (± 20 m/s)

In der Klimakammer können maximal 50 Pa Winddruck bzw. Windsog realisiert werden. Wird der Staudruck p_s von 50 Pa auf die ebene Fassade mit einem Winddruckkoeffizienten c von 0,8 (Quelle: IEMB; Bericht 2-04/2004) auf die Windgeschwindigkeit umgerechnet, ergibt sich eine Geschwindigkeit von etwa 10 m/s.

Aufgrund der in den Abbildung 85 bis Abbildung 87 sichtbaren Drehzahlregelung des Zu- und Fortluftventilators und den sich offensichtlich nicht schließenden motorischen Absperrklappen bei +50 bzw. -50 Pascal auf die Fassade, wird der geforderte Zuluftvolumenstrom je Leistungsstufe konstant gehalten. Eine Messung des Luftvolumenstroms mit Tracergas erfolgte an dieser Stelle nicht.

$$\Delta p_s = c * 0,5 * \rho * v^2$$

5.12. Kondensat

Bei allen Versuchen der verschiedenen Varianten im Kühlfall tritt kein Kondensat auf.

Im Fall der Vorlauftemperaturabsenkung muss jedoch ein Kondensatablauf vorgesehen werden. Der Anschluss für eine Kondensatleitung ist im Gerät vorgesehen.

5.13. Vereisung an der Fassade

Das Verhalten der Fassade im Bereich des Fortluftauslasses wurde unter Bedingungen simuliert, die in unseren Breitengraden nicht üblich sind. Unter Berücksichtigung einer Außentemperatur von -10°C , einer Raumtemperatur von 20°C und einer für winterliche Verhältnisse hoch angesetzten relativen Luftfeuchtigkeit von 50% strömt im Winterfall feuchte, warme Fortluft gegen die Fassade und kühlt sich ab. Es kommt zum Kondensatausfall an der Fassade, das aufgrund der geringen Außentemperatur zu einer leichten Vereisung am Verglasungselement des Fortluftauslasses führt. Aufgrund von Temperaturerhöhungen der Außenluft oder durch Solarstrahlung auf die Fassade, taut das Eis wieder auf und es kann zu Tropfenbildung an der Glasfassade kommen.



Abbildung 88 Vereisung an der Fassade im Heizfall

Unter den in unseren Breitengraden üblichen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten treten bei den durchgeführten Untersuchungen in der Klimakammer keinerlei Probleme hinsichtlich Vereisung an der Fassade auf!

Kapitel 6

Messungen: Raumklima

6. MESSUNGEN: RAUMKLIMA

6.1. Einbauvariante 1 Unterflurlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung

6.1.1. Raumlufthtemperatur, globale Temperatur

Zwei wesentliche Beurteilungskriterien für den Raumkomfort sind die empfundene (globale) Raumtemperatur zusammen mit der relativen Raumlufthfeuchte. Die Messungen für die Einbauvariante 1 erfolgen für den Heiz- und Kühlfall bei jeweils 3 Außentemperaturen. In Abbildung 89 und Abbildung 91 werden die Temperaturen an insgesamt sieben Stellen im Testaufbau erfasst und in einer Grafik dargestellt. Dabei wird der Temperaturverlauf der Luft von Außen, über das Lüftungsgerät nach Innen aufgetragen. In den weiteren Grafiken werden die Messergebnisse im Heizfall am Beispiel der geringsten Außentemperatur von -10°C und im Kühlfall bei den Außenlufttemperaturen 26 , 29 und 32°C grafisch dargestellt. Die Messdauer beträgt pro Testaufbau jeweils drei Stunden.

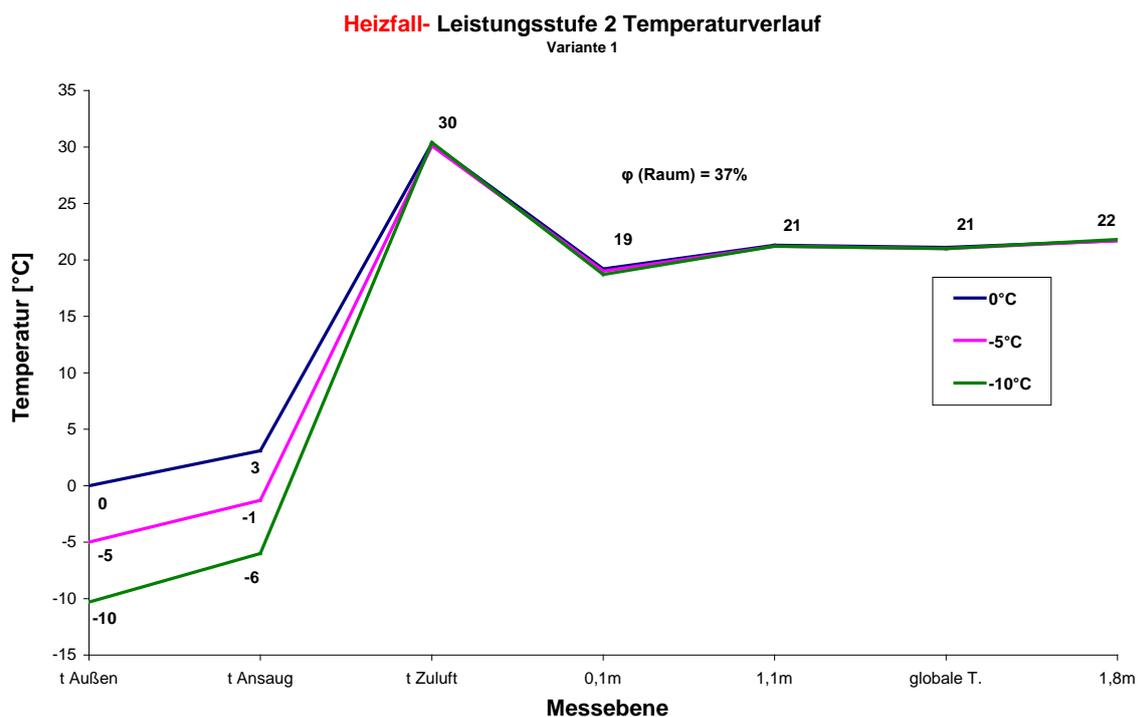


Abbildung 89 Temperaturverlauf (Variante1) – Leistungsstufe 2, Heizfall

Abbildung 89 zeigt, dass trotz einer Ansaugtemperatur zwischen 0 und -10°C im Heizfall die Kombination aus Wärmerückgewinnung und Konvektorleistung unter Laborbedingungen ausreichen, die Zuluft auf 30°C zu erwärmen und eine Raumlufth-Solltemperatur von 20°C am Arbeitsplatz sicherzustellen. Solare Erträge bleiben analog zum Heizlastverfahren nach DIN EN 12831 unberücksichtigt!

Heizfall- Variante 1- Temperaturen
 Regelung der Raumtemp. mit einem Thermostatventil (Heimeier)
 Innere Lasten: 160 W (Vers_15_10_08_Fa) ta: ca. -10°C

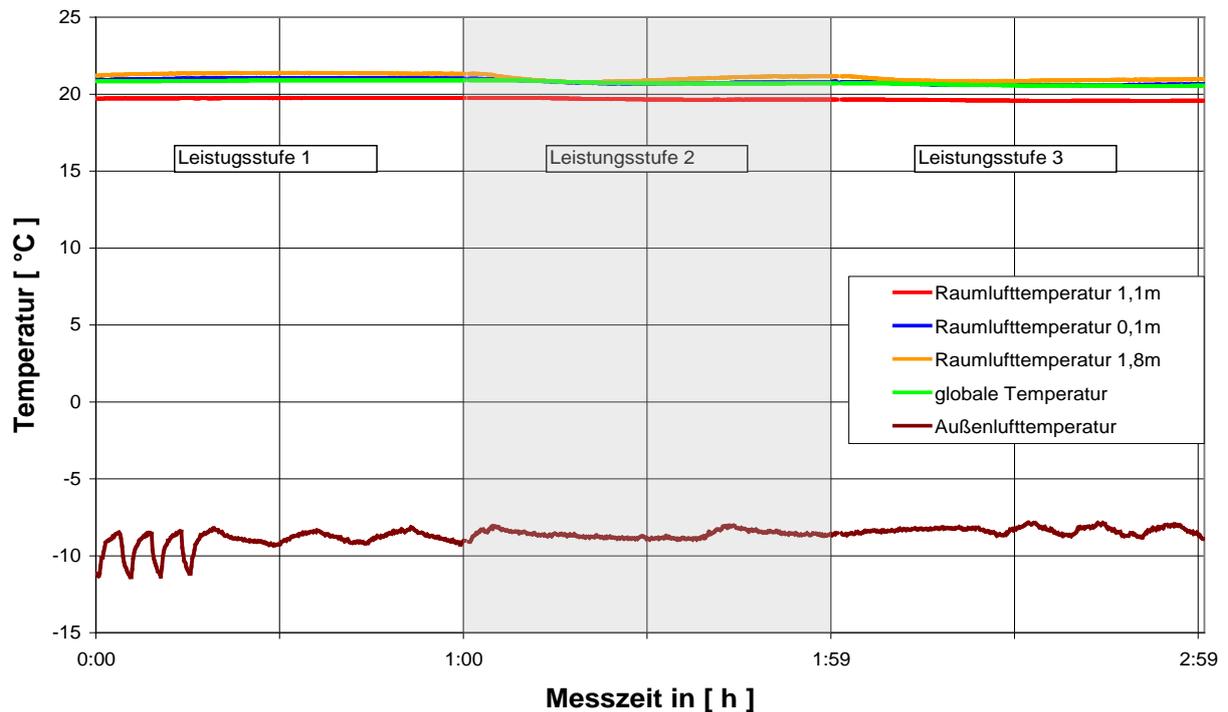


Abbildung 90 Raumlufttemperatur, globale Temperatur, bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 1

Die Messdauer im Heizfall bei einer Außenlufttemperatur von -10°C pro Leistungsstufe beträgt jeweils eine Stunde. Die Abweichungen der gemessenen Temperaturen je Leistungsstufe im Arbeitsplatzbereich in den Raumhöhen von 0,1 m, 1,1 m und 1,8 m, sowie von der globalen Temperatur sind unerheblich.

In Abbildung 91 sind die Temperaturverläufe für den Sommerfall bei Ansaugtemperaturen zwischen 26 und 32 °C zu erkennen. Für den Kühlfall sind die Wärme- /Kälterückgewinnung und die Leistung des Konvektors unter Laborbedingungen ausreichend, um eine Raumluft-Solltemperatur zwischen 24°C und 26°C zu erreichen.

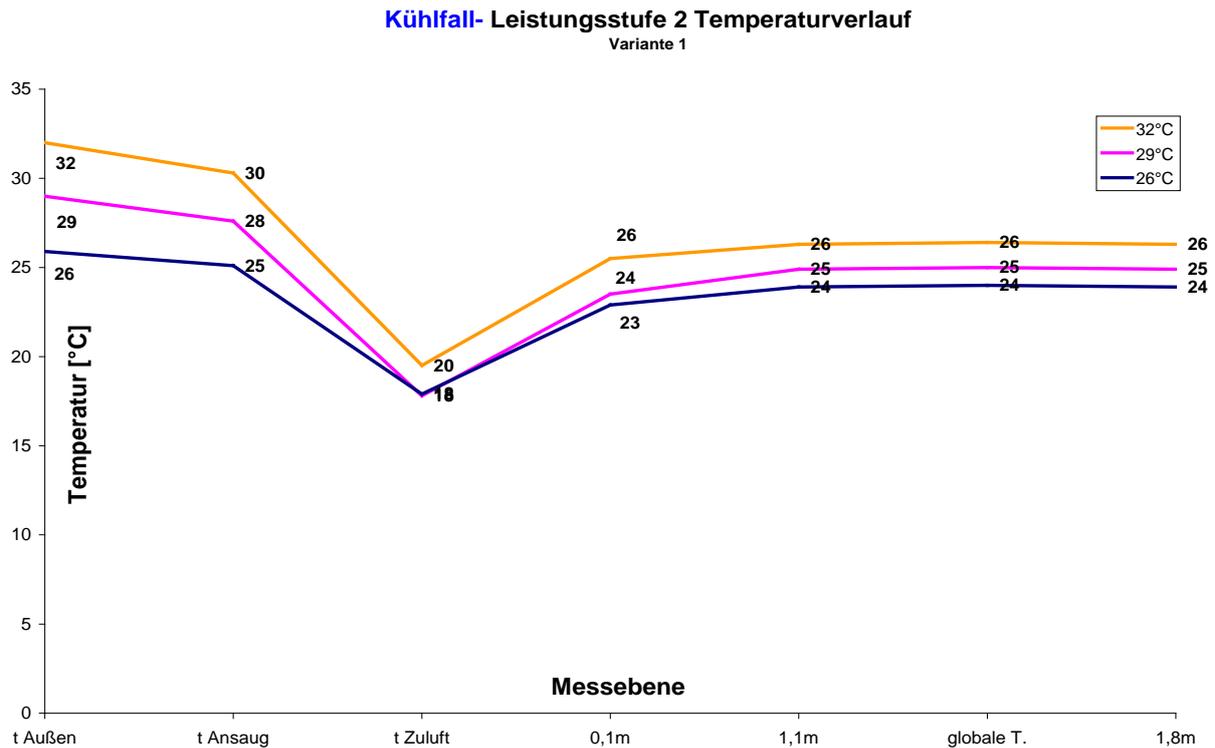


Abbildung 91 Diagramm Temperaturverlauf (Variante1) – Leistungsstufe 2, Kühlfall

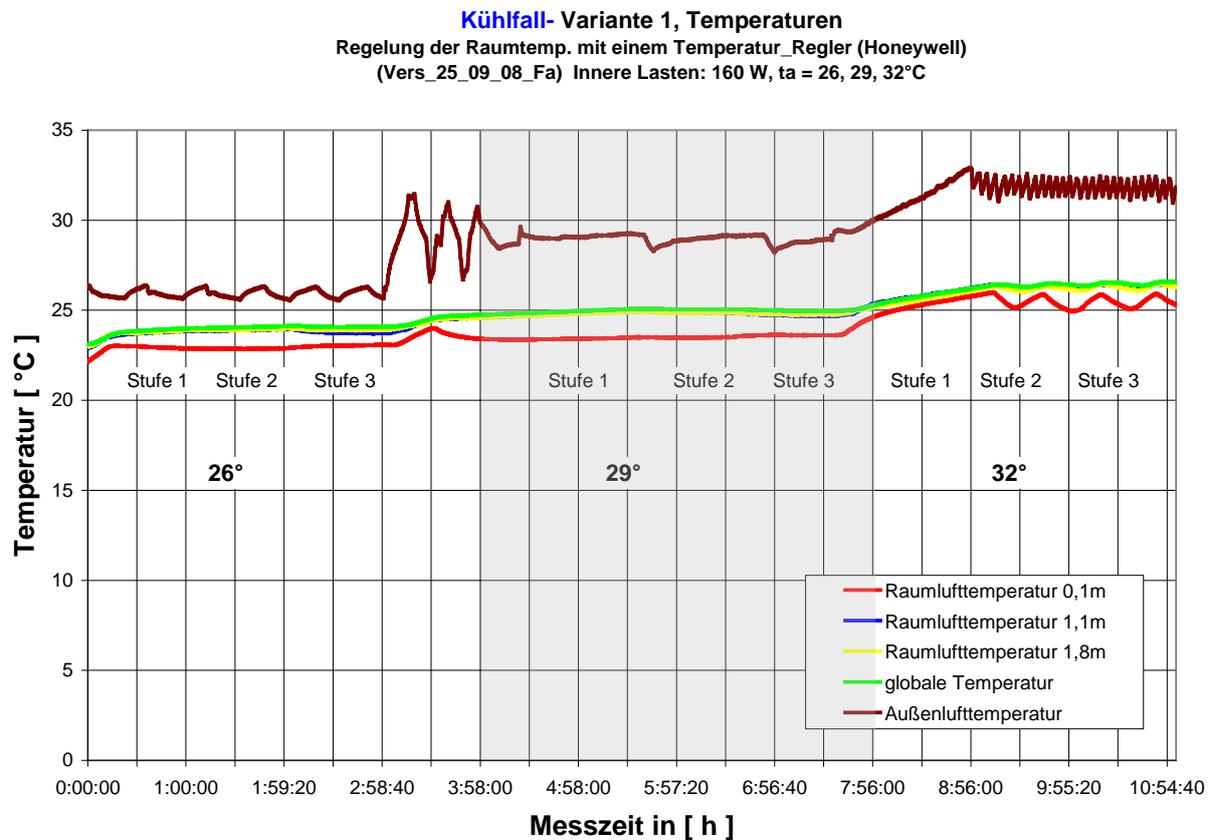


Abbildung 92 Raumlufttemperatur, globale Temperatur bei 26/ 29/ 32°C Ansaugtemperatur, Variante 1

Die Messdauer im Kühlfall bei Außenlufttemperaturen von 26, 29 und 32°C pro Leistungsstufe beträgt jeweils eine Stunde. Die Abweichungen der gemessenen Temperaturen je Leistungsstufe im Arbeitsplatzbereich in den Raumhöhen von 0,1 m, 1,1 m und 1,8 m, sowie von der globalen Temperatur sind unerheblich.

Nach DIN EN ISO 7730 sollte der vertikale Lufttemperaturgradient zwischen Kopf- und Fußgelenken (1,1 m und 0,1 m) aus Behaglichkeitsgründen weniger als 3 K betragen. Diese Bedingung wird für den Heiz- (Abbildung 90) und den Kühlfall (Abbildung 92) erfüllt.

6.1.2. Oberflächentemperaturen an der Fassade

Die Oberflächentemperaturen werden an verschiedenen Stellen der Glasoberfläche und auf dem Fassadenprofil gemessen. Unter Berücksichtigung der Raumlufftfeuchte kann für die Oberflächentemperaturen die Taupunkttemperatur berechnet werden. Die Taupunkttemperatur ist die Temperatur, bei der sich auf einem Gegenstand ein Gleichgewichtszustand von kondensierendem und verdunstendem Wasser einstellt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Diagrammen aufgeführt.

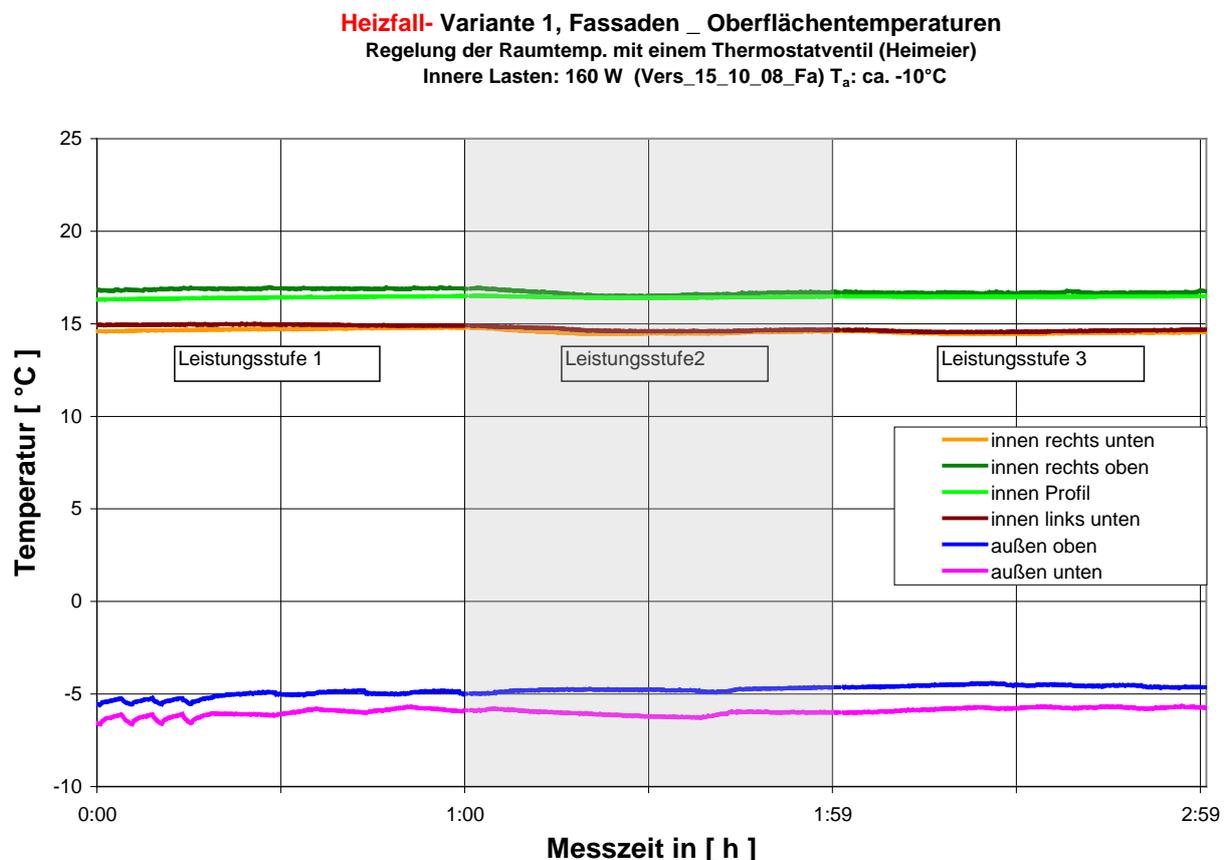


Abbildung 93 Oberflächentemperaturen Fassade bei ca.-10°C Außenlufttemperatur, Variante 1

Kühlfall- Variante 1, Fassaden - Oberflächentemperaturen
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 (Vers_25_09_08_Fa) Innere Lasten: 160 W, ta = 26,29,32°C

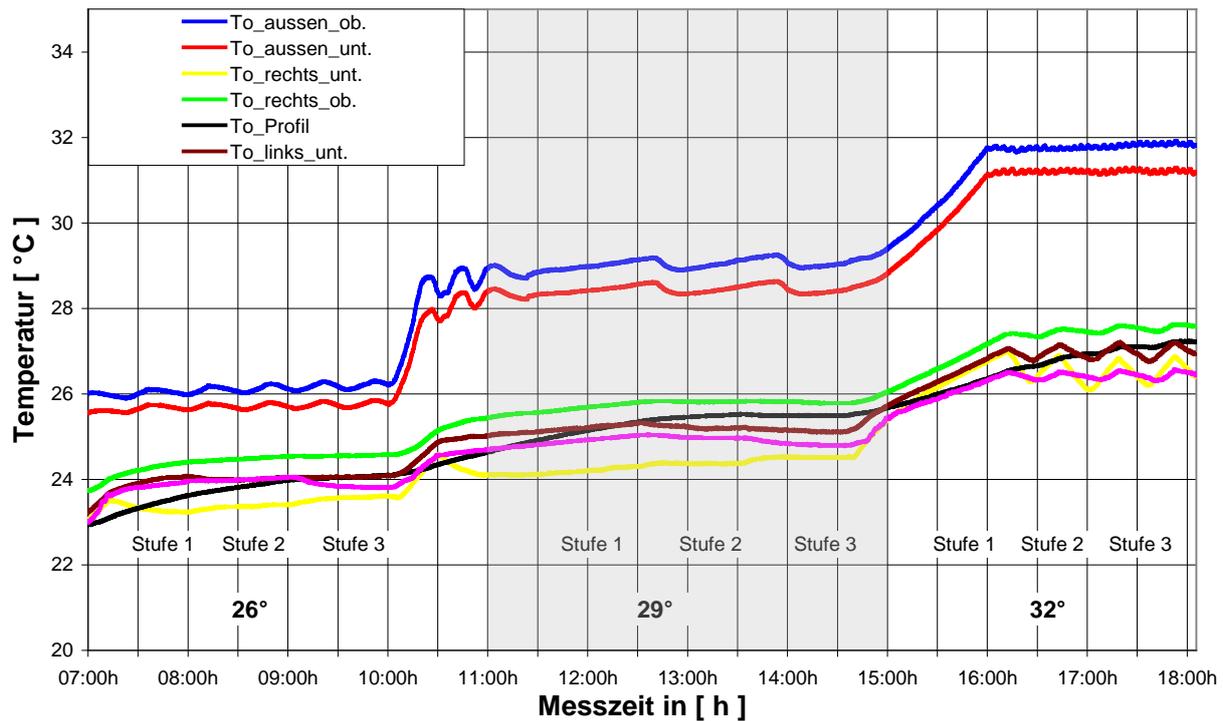


Abbildung 94 Oberflächentemperaturen Fassade bei 26, 29, 32°C, Variante 1 (ohne solare Einstrahlung)

Die Oberflächentemperaturen je Leistungsstufe weichen im Heiz- und im Kühlfall nur geringfügig voneinander ab. Die Messergebnisse „außen unten“ und im Innenraum der Fassade „rechts unten“ und „innen Profil“ tendieren im Kühlfall mit Zunahme der Leistungsstufe geringfügig zu einer Temperaturerhöhung (maximal um 0,5 K). Die Messfühler sind auf der Innen- und Außenseite an etwa gleicher Stelle an der Fassade positioniert und befinden sich nahe der Zu- und Abluftöffnung des Gerätes.

Die Gefahr einer Unterschreitung der Taupunkttemperatur ist lediglich für den Heizfall zu prüfen. Die Messergebnisse zeigen, dass bei Einbauvariante 1 die Taupunkttemperatur nach Auswertung des h/x-Diagramms nicht unterschritten wird – ein möglicher Kondensatausfall wird vermieden.

6.1.3. Relative Raumlufffeuchte

Bei einer im Heizfall vordefinierten relativen Außenluftfeuchte von etwa 75 % bei -10°C Außentemperatur bewegt sich die im Arbeitsplatzbereich gemessene relative Raumlufffeuchte zwischen 35 und 40 % (siehe Abbildung 95). Verglichen mit den Anforderungen nach DIN EN ISO 7730 werden die Anforderungen an den Raumkomfort eingehalten. Die relative Raumlufffeuchte befindet sich in Abhängigkeit von der Temperatur

im Raum im Behaglichkeitsbereich I (behaglich), ausgewertet nach Leusden und Treyremark (siehe Abbildung 96).

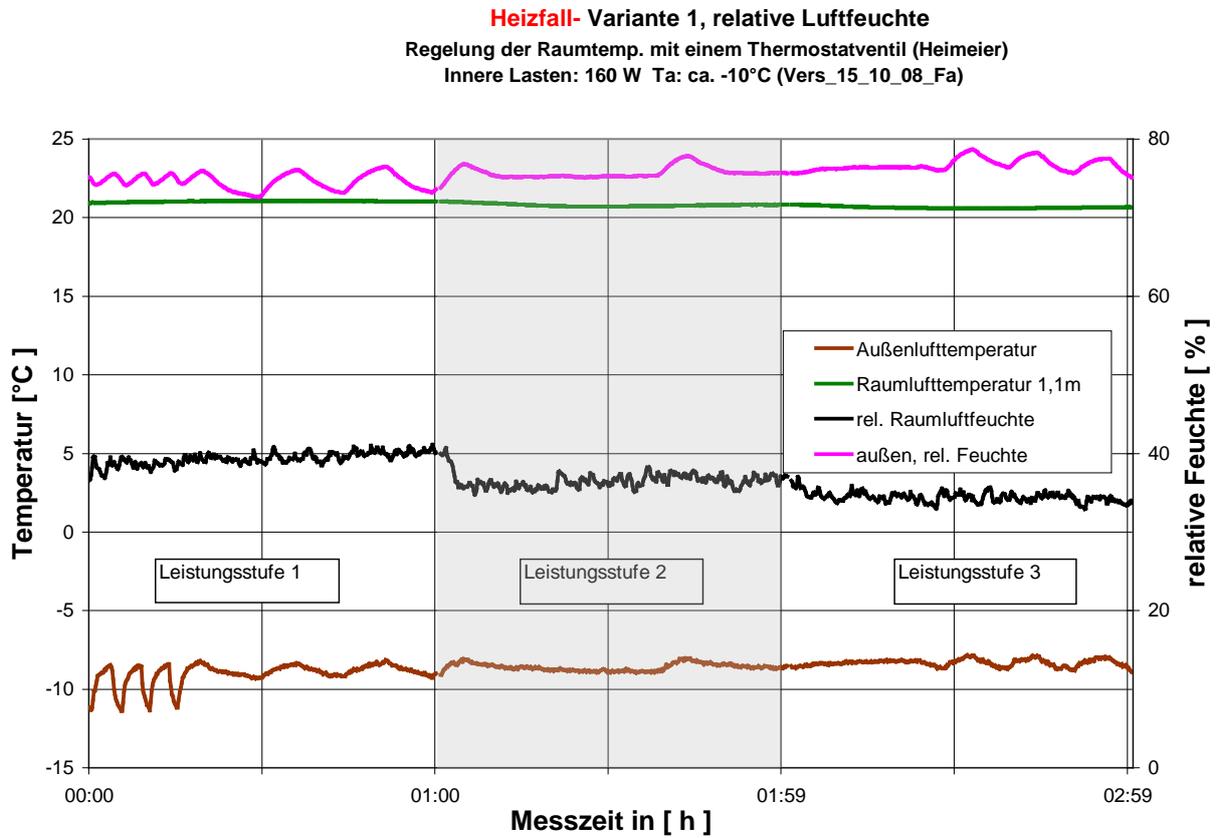


Abbildung 95 relative Feuchte im Testraum bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 1

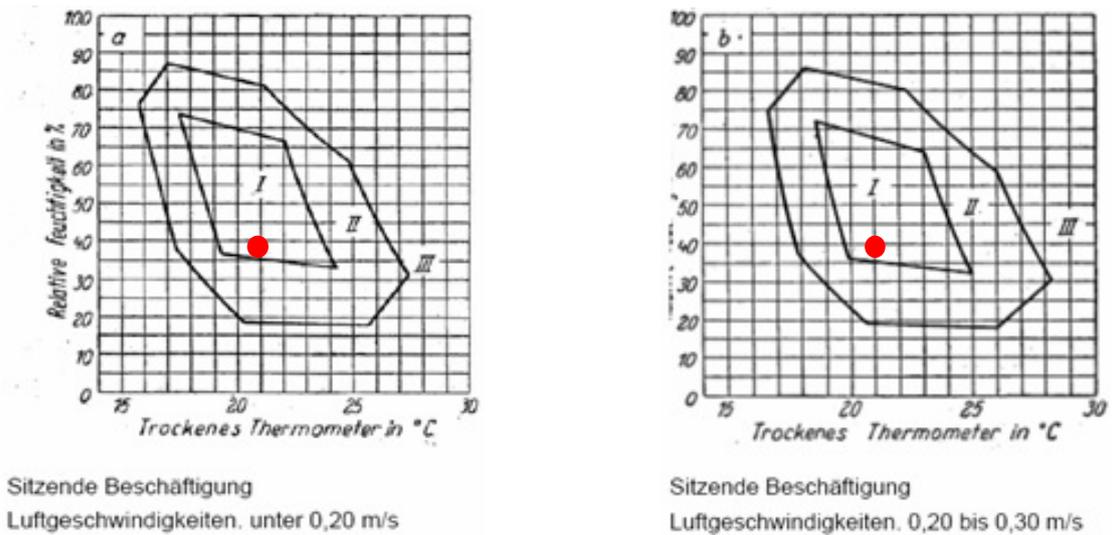


Abbildung 96 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treyremark

Bei einer im Kühlfall vordefinierten relativen Außenluftfeuchte von etwa 40 Prozent bei 32°C bis zu 60 Prozent bei 26°C Außentemperatur bewegt sich die am Arbeitsplatz gemessene relative Raumlufffeuchte im Bereich zwischen 53 und 60 %. Je höher die Raumlufftemperatur, desto geringer ist die relative Luftfeuchte. Verglichen mit den Anforderungen nach DIN EN ISO 7730 werden die Raumkomfortkriterien eingehalten. D.h. die Feuchtigkeit, die in der sommerlichen Umgebung von den Personen abgegeben wird, kann von der umgebenden Raumluff aufgenommen werden. Ein unangenehmes, feuchtes Klima im Arbeitsbereich ist nicht zu erwarten!

Bei den unter Laborbedingungen in der Klimakammer durchgeführten Untersuchungen konnte bei den Messintervallen während des Kühlens kein Kondensatausfall festgestellt werden. Werden andere Bedingungen angenommen, die nicht den Versuchsreihen in der Klimakammer entsprechen, z.B. tiefere Vor- und Rücklauftemperaturen und sehr hohe relative Raumlufffeuchten besteht die Möglichkeit des Kondensatausfalls. Für diesen Fall ist sowohl am Wärmerückgewinner als auch am Wärmetauscher eine Kondensatwanne vorgesehen, die die anfallende Feuchtigkeit sammelt und bei Bedarf über die Kondensatleitung entsorgt.

Im Behaglichkeitsdiagramm nach Leusden und Trey mark befindet sich der Komfort für die Kriterien operative Raumtemperatur und relative Raumlufffeuchte im Behaglichkeitsbereich II (noch behaglich, schließt eine Gesundheitsgefährdung aus). Für die Einordnung der Behaglichkeit ist weitestgehend das Temperatur-/ Feuchtigkeitsdiagramm mit Luftgeschwindigkeiten am Arbeitsplatz bis 0,20 m/s gültig. Bei höheren Außentemperaturen (29°C und 32°C) und Leistungsstufen 2 und 3 ist der Komfort ebenfalls im Behaglichkeitsbereich II angesiedelt, denn die Luftgeschwindigkeiten am Arbeitsplatz liegen etwa bei 0,23 m/s.

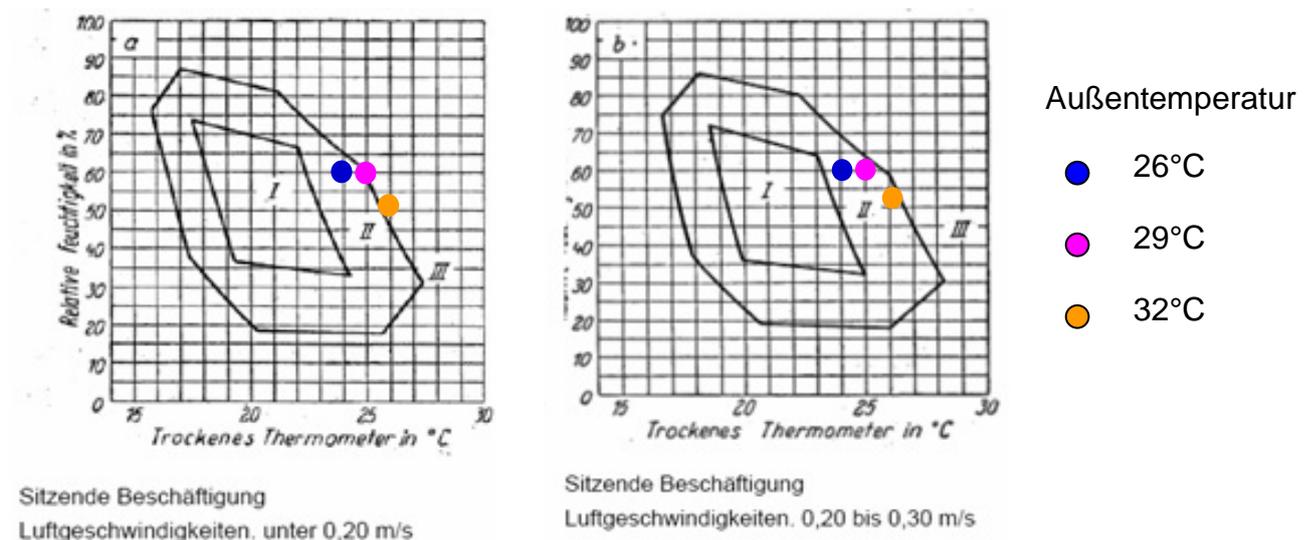


Abbildung 97 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Trey mark

Kühlfall- Variante 1, relative Feuchte und Temperaturen
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 Innere Lasten: 160 W (Vers_25_09_08_Fa)

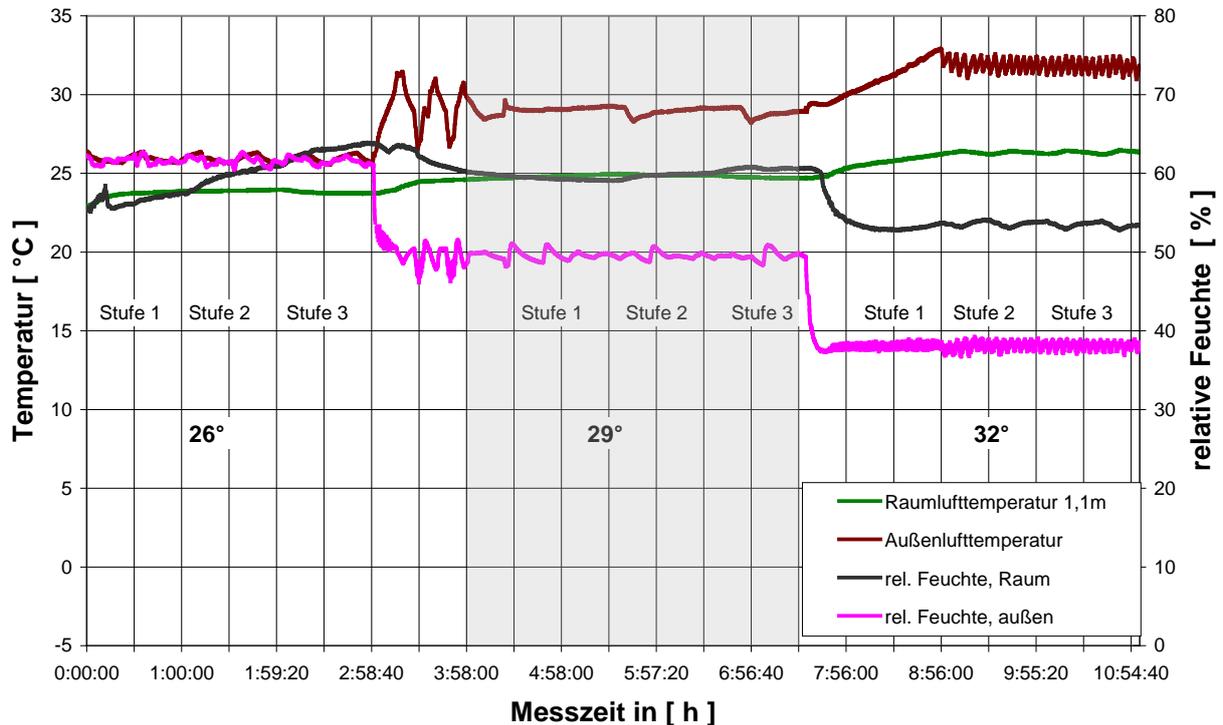


Abbildung 98 relative Feuchte im Testraum bei 26, 29, 32°C Ansaugtemperatur, Variante 1

Unterschiedliche Messergebnisse bezüglich der relativen Raumluftfeuchte sind bei Leistungsstufe 1 bis 3 nicht aufzuweisen. Geringfügige Abweichungen bei der Außentemperatur von 26°C sind zu erkennen, die im Einsatz der Labortechnik zur Raumbefeuchtung begründet liegen.

6.1.4. Luftverteilung im Raum und Raumluftgeschwindigkeit für die Einbauvariante 1

Mit Hilfe von Rauchversuchen wird die Luftverteilung durch die Lüftungsgeräte auf der Innenseite der Testfassade und des Testbüros visualisiert.

Die Luftverteilung im Heizfall unterscheidet sich von der Variante mit gekühlter konditionierter Zuluft. Die für die Beheizung des Raums konditionierte Zuluft wird durch den Zuluftventilator des Fassadengeräts eingeblasen und steigt senkrecht nach oben. Dadurch bildet sich vor der Glasfassade ein „Warmluftschleier“. Die aufsteigende Zuluft wendet sich an der Decke ins Rauminnere und verteilt sich im Raum. Dabei kühlt sich die Luft ab und sinkt langsam nach unten. Der mit einer etwas geringeren Drehzahl gegenüber der Zuluftseite arbeitende Abluftventilator saugt die Raumluft in Bodennähe an und fördert sie, abgekühlt durch die Wärmerückgewinnung, als Fortluft nach außen, siehe Abbildung 99.

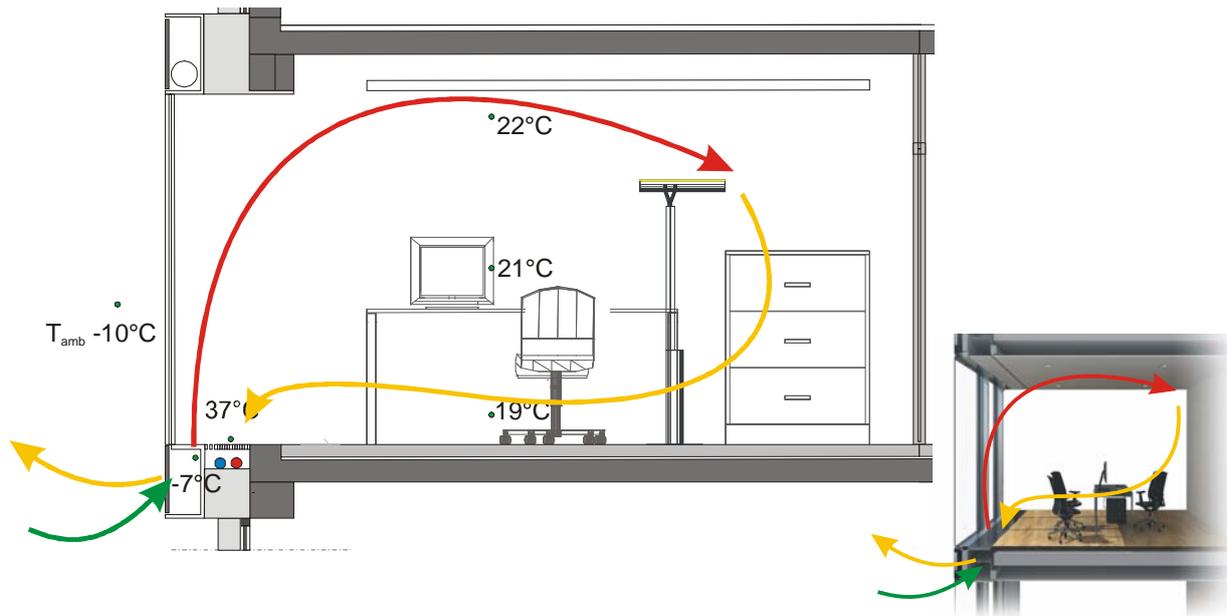


Abbildung 99 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Heizfall Einbauvariante 1

Im Kühlfall wird die konditionierte Luft aus dem Lüftungsgerät nach oben in den Raum geführt. Die Höhe des Auftriebs wird durch die Leistungsstufe bestimmt und fällt jeweils in Richtung Innenraum in sich zusammen. Die Luft verteilt sich im Raum auf Fußbodenhöhe und steigt allmählich aufgrund der Erwärmung im Raum nach oben – sie bildet eine gegenüber dem Heizfall „umgekehrte“ Luftwalze aus. Der Abluftventilator saugt die Raumluft schließlich an der Fassade wieder an und führt sie nach außen, siehe Abbildung 100.

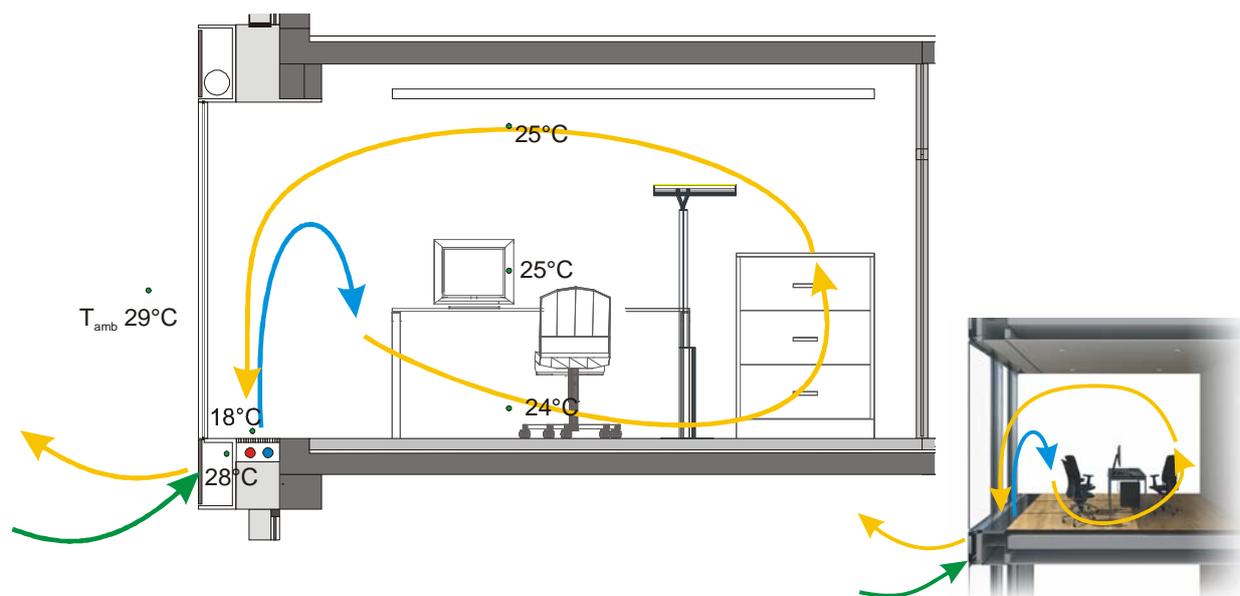


Abbildung 100 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Kühlfall Einbauvariante 1

Raumluftgeschwindigkeit

Geschwindigkeitsmessfühler, die im Arbeitsplatzbereich in 0,1 m, 1,1 m und 1,8 m Höhe angebracht sind, nehmen die Luftgeschwindigkeiten in Zentimeter pro Sekunde [cm/s] auf. Die Messergebnisse werden mit den Komfortanforderungen nach DIN EN ISO 7730 hinsichtlich des Zugluftrisikos verglichen. Anschließend kann der gegebene Komfort kategorisiert werden.

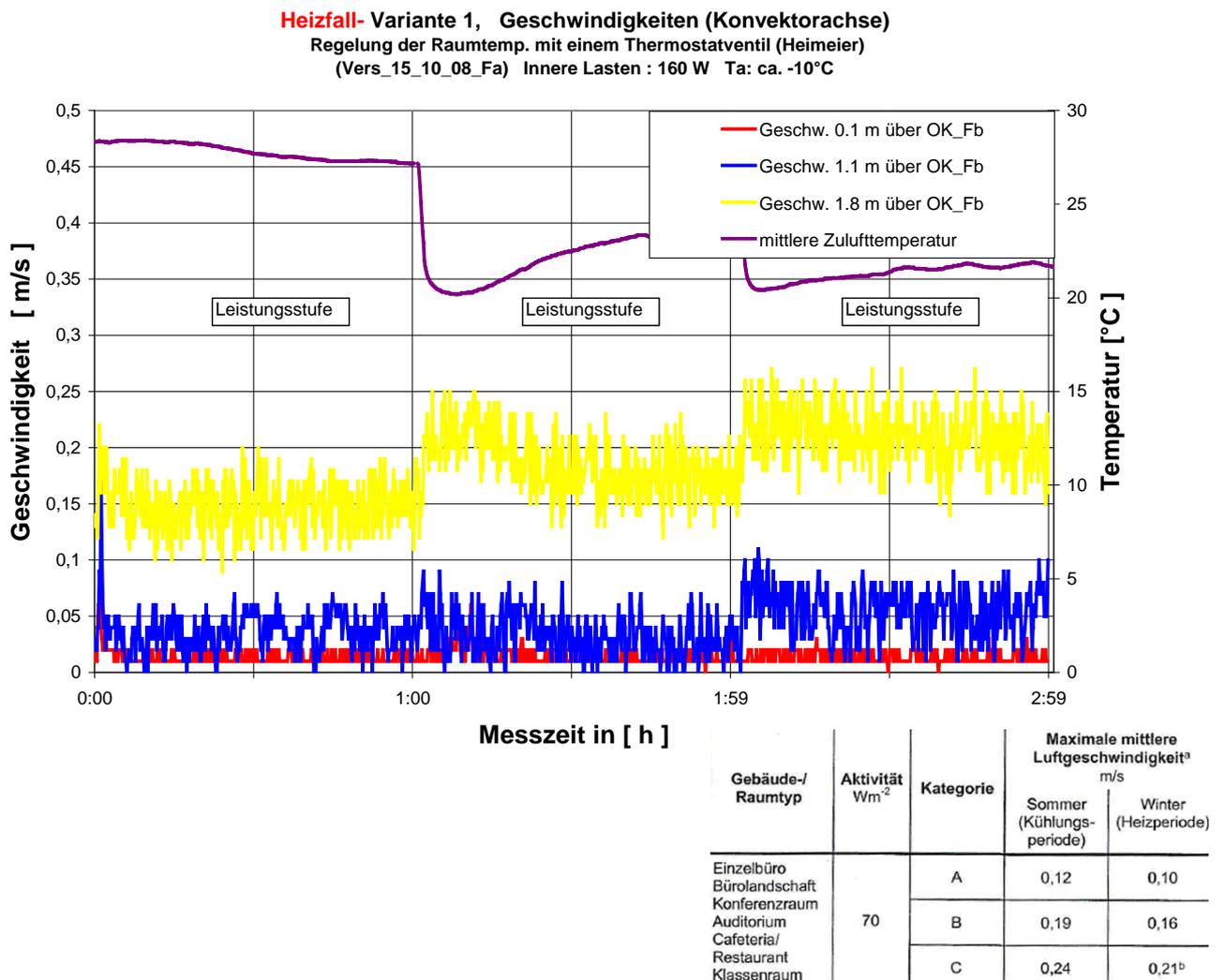


Abbildung 101 Heizfall- Luftgeschwindigkeiten im Raum, Variante 1

Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730

Die Kriterien für die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit sind auf übliche Tätigkeitsgrade bezogen, unter Berücksichtigung einer Bekleidung von 0,5 clo im Sommer und 1,0 clo im Winter. Die angegebene Aktivität von 70 Wm⁻² entspricht dem Energieumsatz bei einer sitzenden Tätigkeit im Büro.

Die Auswertung der Messergebnisse verdeutlicht, dass am Arbeitsplatz, also in einer Höhe von 1,1 m (blaue Linie), nach DIN EN ISO 7730 die Kategorie A eingehalten wird. Eine

maximale mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,1 m/s wird im Winter bei allen drei Leistungsstufen unterschritten.

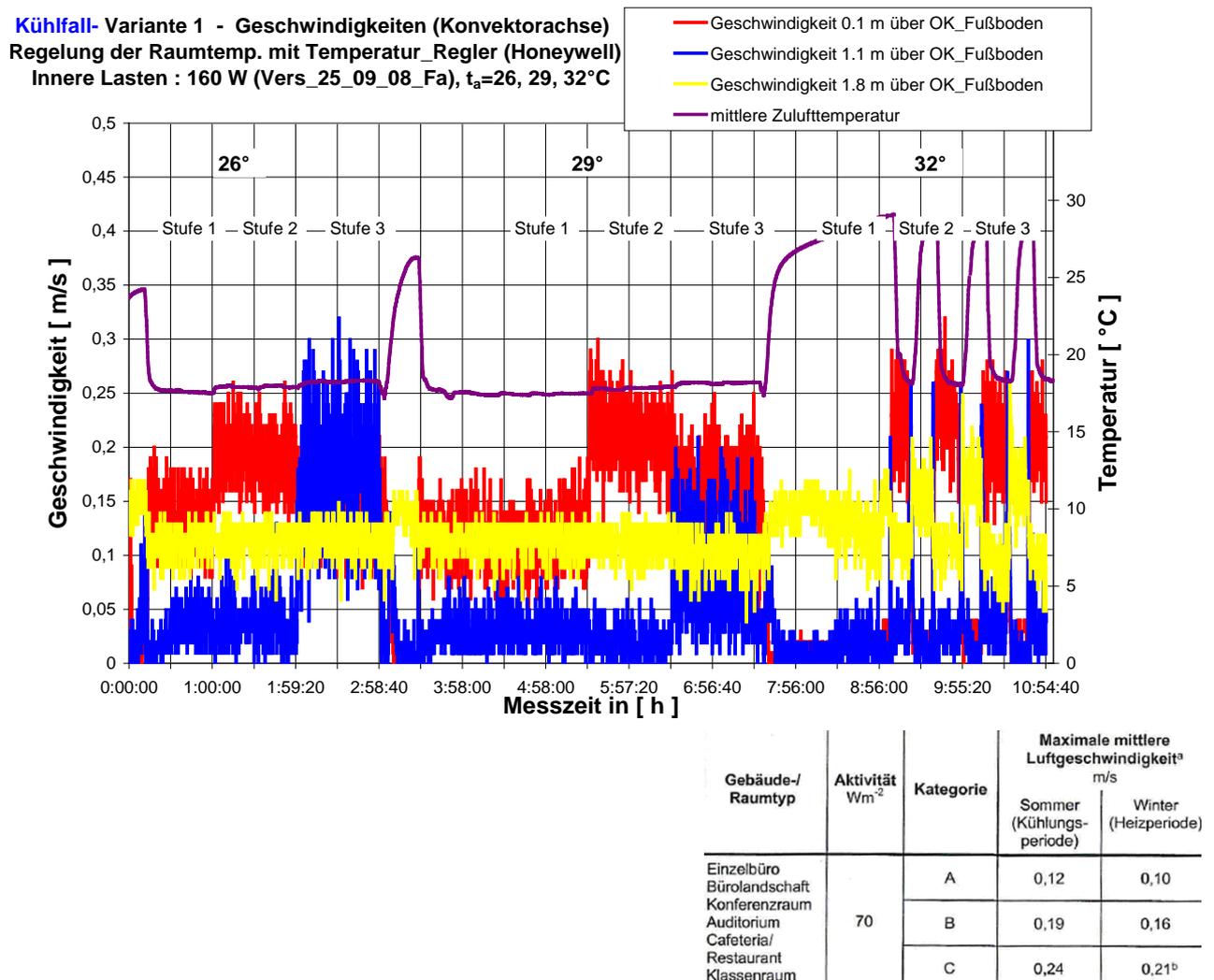


Abbildung 102 Kühlfall- Luftgeschwindigkeiten im Testraum, Variante 1
Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730

Aufgrund des Einsatzes eines 2-Punkt-Reglers zur Regelung der Raumlufttemperatur, taktet das Lüftungsgerät, d.h. das Lüftungsgerät ist nur bei Kühlbedarf eingeschaltet. Besonders kurze Intervalle sind bei der Außentemperatur von 32°C zu verzeichnen. Da sich die Geschwindigkeitswerte nicht wesentlich von den Messergebnissen bei den sommerlichen Außentemperaturen von 26°C und 29°C unterscheiden, können diese bei der Auswertung mit in Betracht gezogen werden.

Die Messergebnisse des Kühlfalls zeigen, dass die Raumluftgeschwindigkeiten am Arbeitsplatz höher sind als im Heizfall. Während die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit nach DIN EN ISO 7730 für die Bewertung Kategorie A bei Leistungsstufe 1 und 2

eingehalten wird, tritt bei Leistungsstufe 3 eine Überschreitung der „empfohlenen“ 0,12 m/s bzw. 12 cm/s auf. Im Kühlfall wird bei Leistungsstufe 3 die Kategorie B eingehalten (vgl. Kapitel Messkonzept). Da in den Sommermonaten in den Büroräumen eine höhere Luftfeuchtigkeit auftritt, wirkt sich eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Raum positiv auf den Komfort bezüglich des Temperatur- Feuchte- Verhältnisses auf; feuchte Lasten werden schneller abgeführt. Zugserscheinungen am Arbeitsplatz treten erst nach Überschreiten der empfohlenen Geschwindigkeiten auf.

6.2. Einbauvariante 2

6.2.1. Raumlufttemperatur, globale Temperatur

Die Messungen zur Raumlufttemperatur und zur globalen Temperatur erfolgen bei Einbauvariante 2 für den Heiz- und Kühlfall für jeweils 3 Außentemperaturen. In Abbildung 103 und Abbildung 105 werden die Temperaturen an verschiedenen Stellen in der Klimakammer gemessen und grafisch zusammengefasst. Dabei wird der Temperaturverlauf der Zuluft von Außen, über das Unterflurlüftungsgerät nach Innen dargestellt. In den weiteren Grafiken werden die Messergebnisse im Heizfall am Beispiel der geringsten Außentemperatur von -10°C und im Kühlfall bei den Außenlufttemperaturen $26, 29$ und 32°C dargestellt. Die Messdauer beträgt für alle Untersuchungen jeweils drei Stunden.

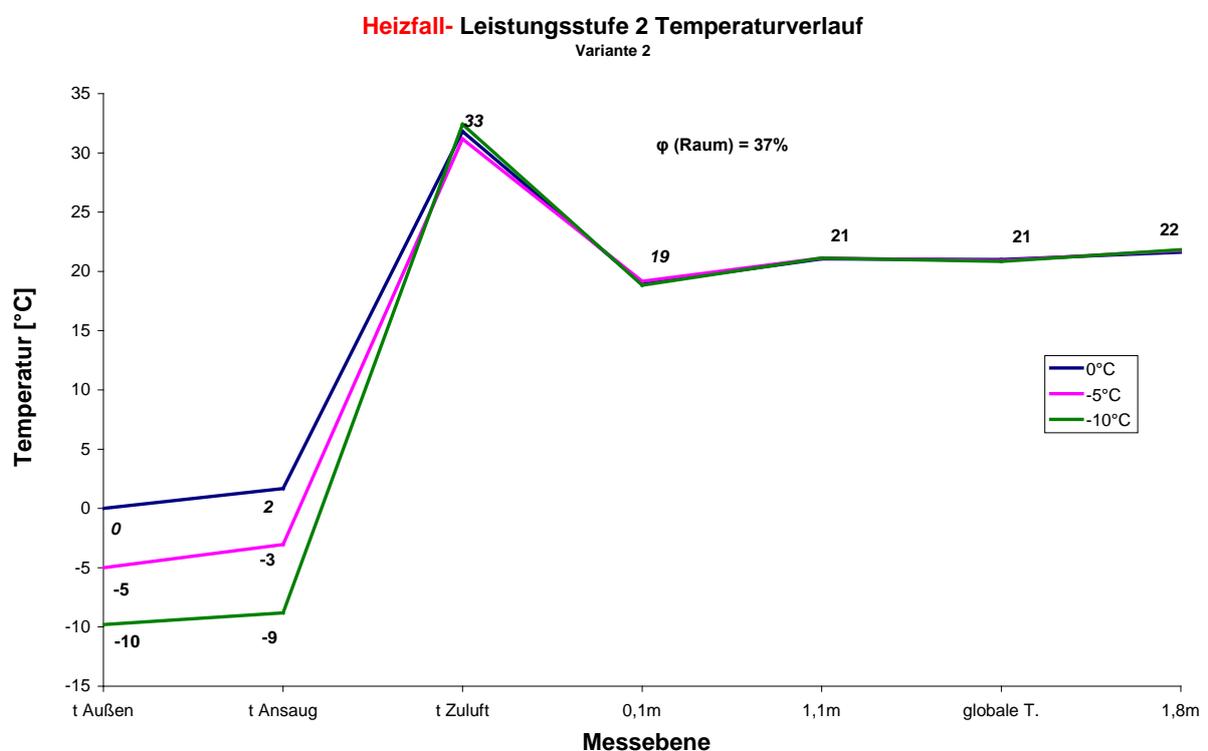


Abbildung 103 Temperaturverlauf (Variante 2) – Leistungsstufe 2, Heizfall

Aus Abbildung 103 wird deutlich, dass im Heizfall unter Laborbedingungen bei Ansaugtemperaturen von 0 bis -10°C nach dem Konvektor nur geringe Temperaturdifferenzen auftreten. Bei der anschließenden Luftverteilung im Raum wird auf der Höhe von $1,1\text{ m}$ die Raumluf-Solltemperatur von 21°C am Arbeitsplatz eingehalten. Die Werte werden analog zur DIN EN 12831 (Heizlastberechnung) ohne den Einfluss solarer Einstrahlung auf die Fassade (bedingt durch die bauliche Situation in der Klimakammer) ermittelt.

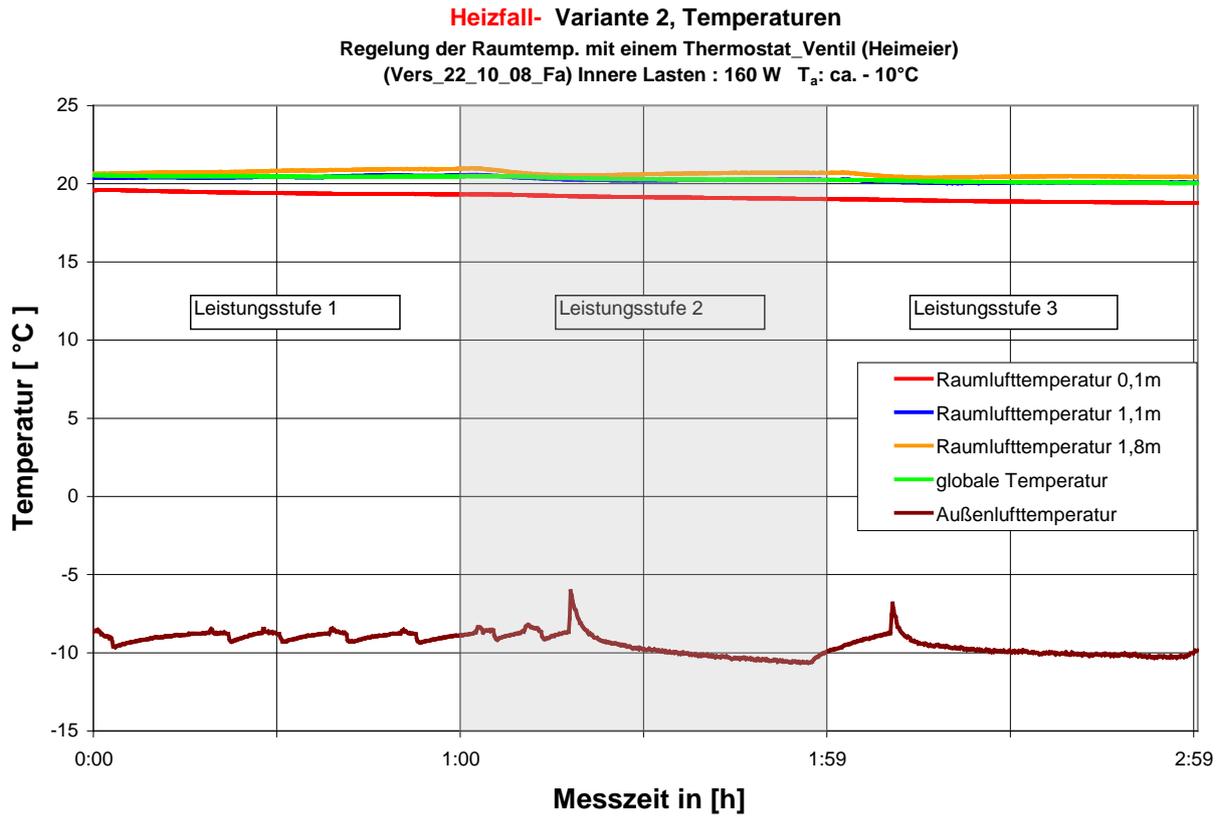


Abbildung 104 Raumlufthemperatur, globale Temperatur bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 2

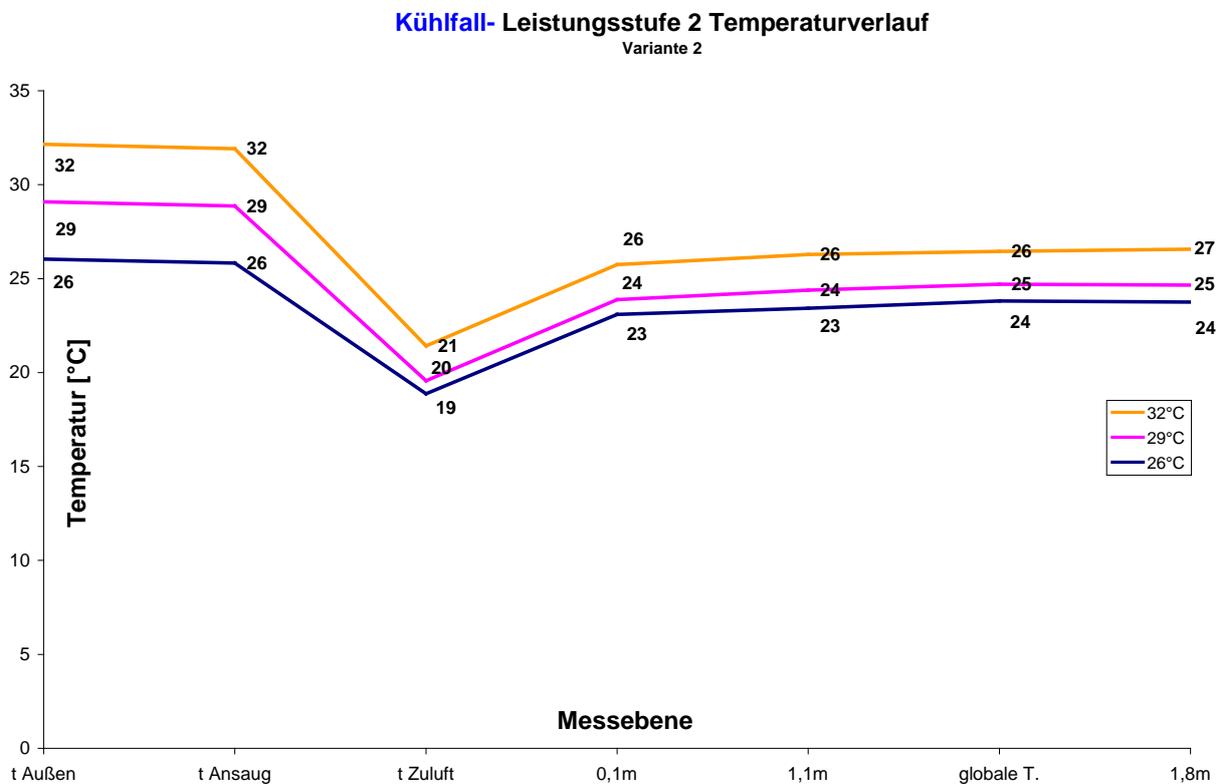


Abbildung 105 Temperaturverlauf (Variante 2) – Leistungsstufe 2, Kühlfall

In Abbildung 105 ist zu erkennen, dass auch im Kühlfall die Leistung des Konvektors mit einer Vorlauftemperatur von 16°C unter Laborbedingungen ausreicht, die Innenraumtemperatur in einem behaglichen Bereich zu gewährleisten. Die Raumluft-Solltemperatur wird entsprechend der Außentemperatur regelungstechnisch angepasst: einer höheren Außentemperatur wird eine höhere Raumlufttemperatur zugeordnet. Bei einer Außentemperatur von 32°C wird im Arbeitsplatzbereich eine Temperatur von 26°C bis 27°C gemessen - bei einer Außentemperatur von 26 °C im Arbeitsplatzbereich eine Temperatur von 23°C bis 24°C.

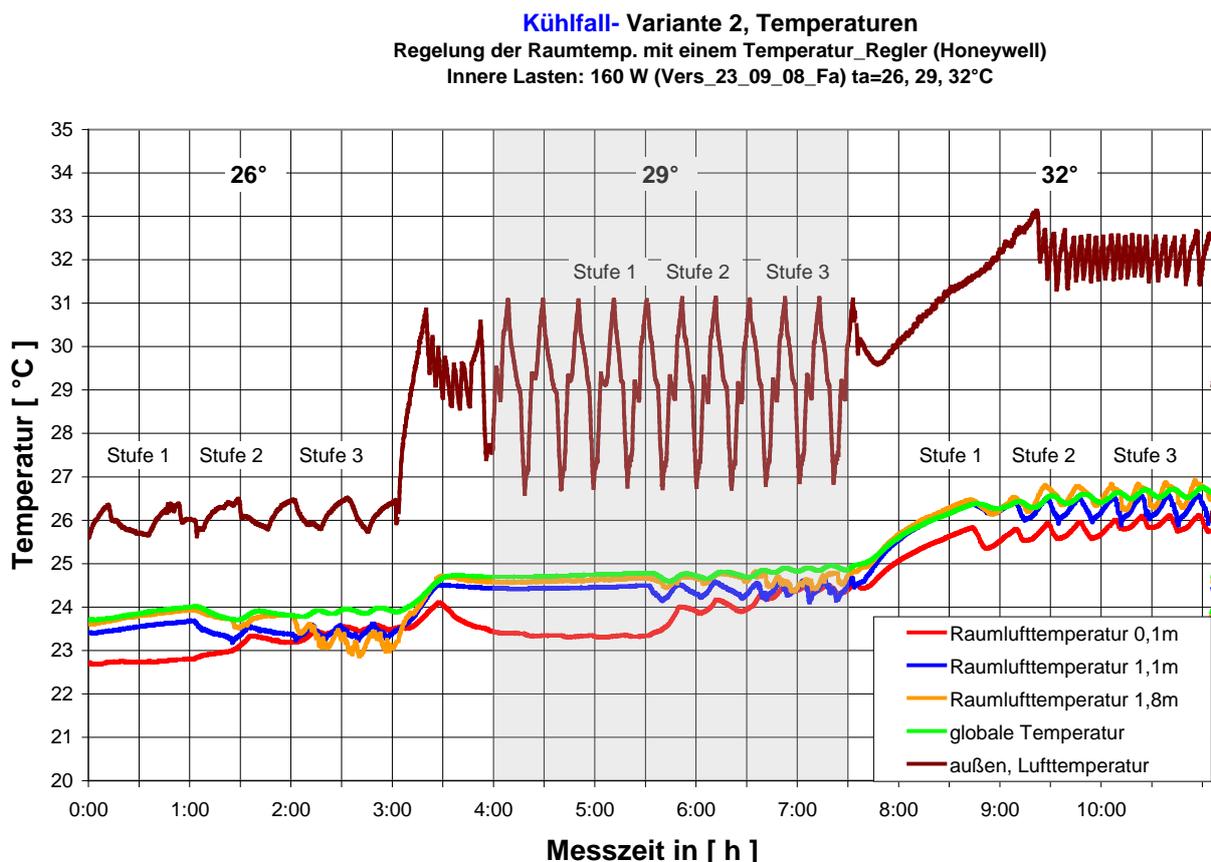


Abbildung 106 Raumlufttemperatur, globale Temperatur bei 26, 29, 32°C Ansaugtemperatur, Variante 2

Nach DIN EN ISO 7730 sollte der vertikale Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fußgelenken (1,1m und 0,1m) aus Behaglichkeitsgründen weniger als 3 K betragen. Diese Bedingung wird, wie in Abbildung 104 (Heizfall) und in Abbildung 106 (Kühlfall) dargestellt, eingehalten.

6.2.2. Oberflächentemperaturen an der Fassade für die Einbauvariante 2

Die Ergebnisse der Oberflächentemperaturen und die damit verbundene Untersuchung zur Tauwasserbetrachtung für den Heizfall sind in den folgenden Diagrammen aufgeführt.

Heizfall- Variante 2, Fassaden _ Oberflächentemperaturen
 Regelung der Raumtemp. mit einem Thermostat_Ventil (Heimeier)
 Innere Lasten: 160 W (Vers_22_10_08_Fa) Ta: ca. -10°C

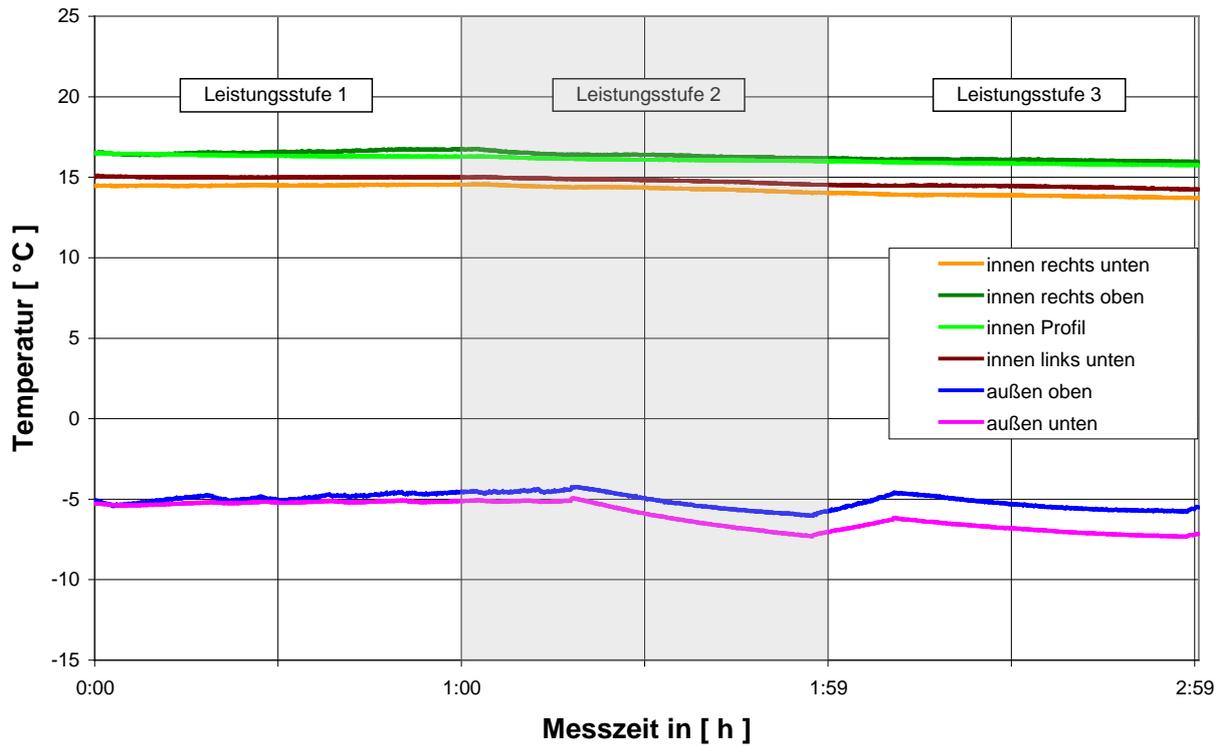


Abbildung 107 Oberflächentemperaturen Fassade bei -10°C Außenlufttemperatur, Variante 2

Kühlfall- Variante 2- Fassaden _ Oberflächentemperaturen
 Regelung der Raumtemp. mit Temperatur_Regler (Honeywell)
 Außenlufttemperatur: 26,29,32°C, Innere Lasten: 160 W (Vers_23_09_08_Fa)

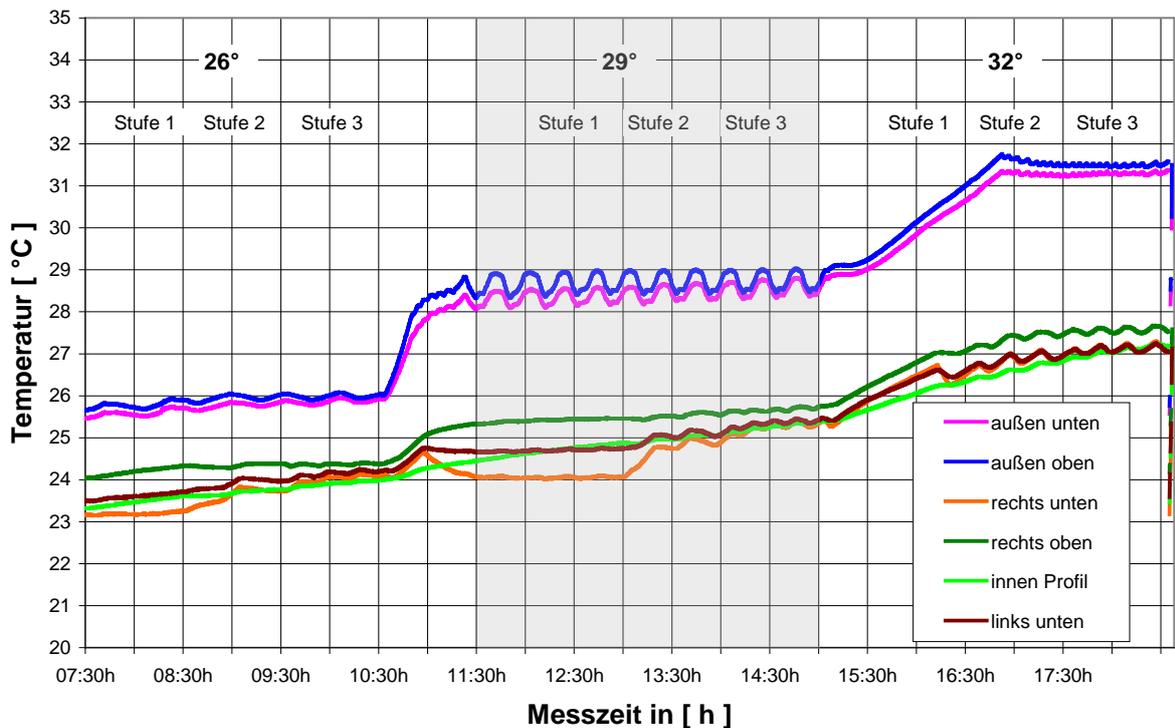
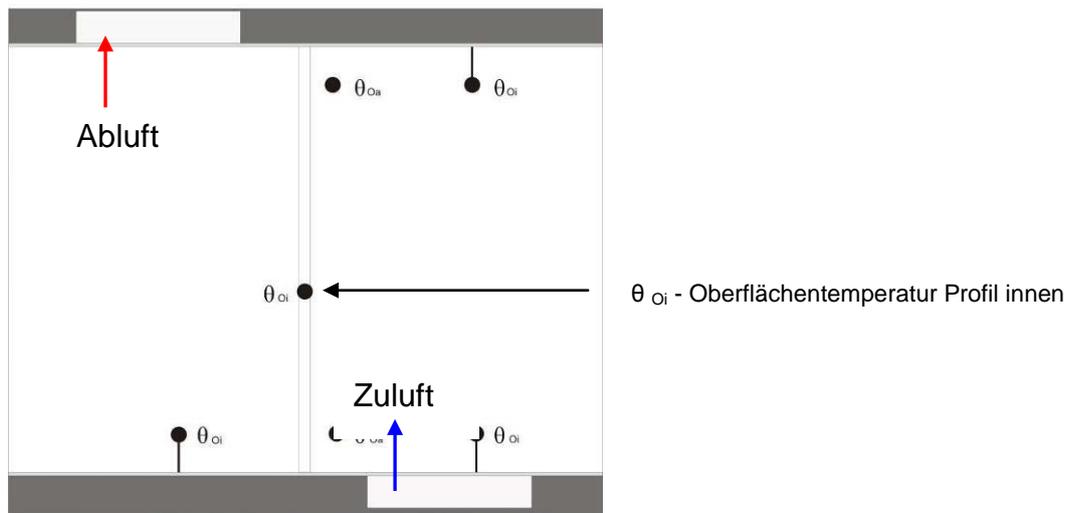


Abbildung 108 Oberflächentemperaturen Fassade bei 26, 29, 32°C, Variante 2 (ohne solare Einstrahlung)



**Abbildung 109 Messung der Oberflächentemperatur an der Fassade außen und innen
Ansicht Fassade aus dem Innenraum: schematische Darstellung**

Das Messergebnis der Oberflächentemperatur „Profil innen“ weist bei steigender Leistungsstufe eine Temperaturerhöhung um maximal 0,5 Kelvin auf. Die Messzeit pro Leistungsstufe beträgt eine Stunde. Die Temperaturerhöhung liegt in der Anordnung der Zu- und Abluftgeräte und der damit definierten Luftzirkulation im Raum begründet. Die Erhöhung des Luftvolumenstroms hat auf die übrigen Messergebnisse bezüglich der Temperatur an der Fassade keinen Einfluss.

Die Messergebnisse zeigen, dass auch bei Einbauvariante 2 die Taupunkttemperatur nach Auswertung des h/x-Diagramms nicht unterschritten wird – ein möglicher Kondensatausfall wird vermieden.

6.2.3. Relative Raumlufffeuchte

Bei einer im Heizfall vordefinierten relativen Außenluftfeuchte von etwa 75 % bei -10°C Außentemperatur bewegt sich die im Arbeitsplatzbereich gemessene relative Raumlufffeuchte zwischen 35 und 40 % (siehe Abbildung 110). Verglichen mit den Anforderungen nach DIN EN ISO 7730 werden die Anforderungen an den Raumkomfort eingehalten. Die relative Raumlufffeuchte befindet sich in Abhängigkeit von der Temperatur im Raum im Behaglichkeitsbereich I (behaglich), ausgewertet nach Leusden und Trey mark (siehe Abbildung 111).

Heizfall- Variante 2 - relative Feuchte (t_a : ca. -10°C)
 Regelung der Raumtemp. mit einem Thermostat_Ventil (Heimeier)
 Innere Lasten: 160 W (Vers_22_10_08_Fa)

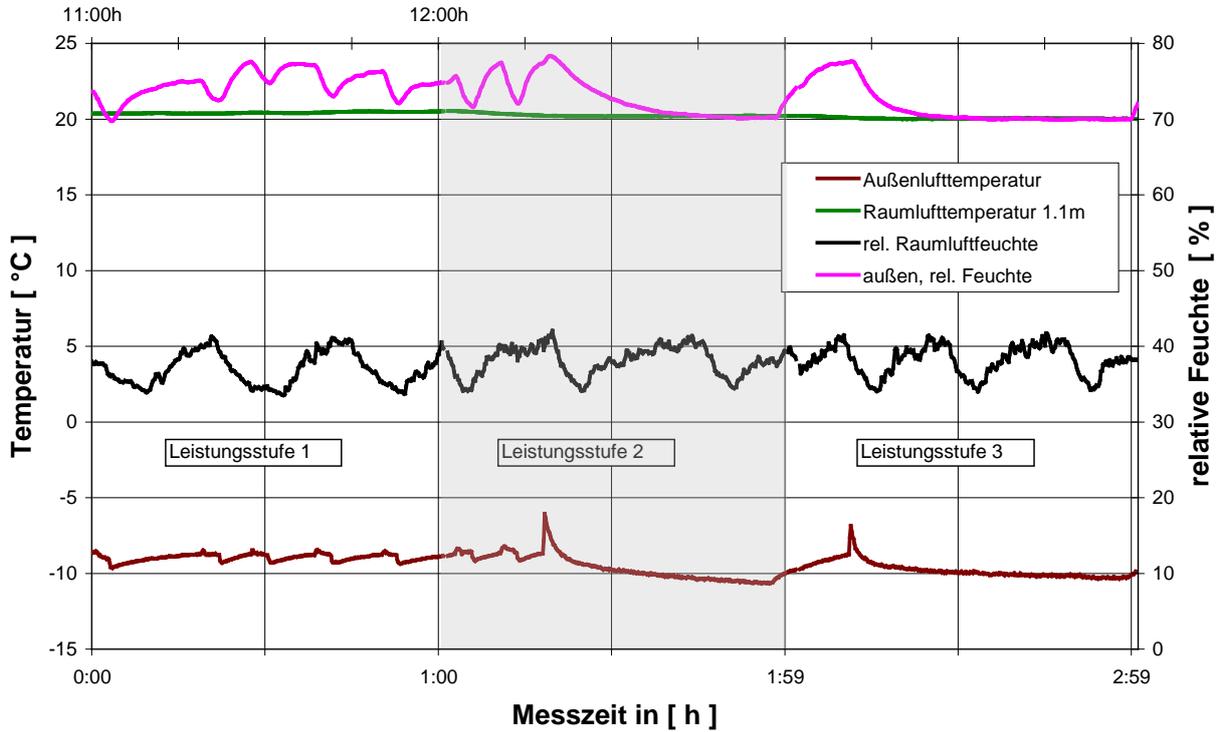


Abbildung 110 relative Feuchte im Testraum bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 2

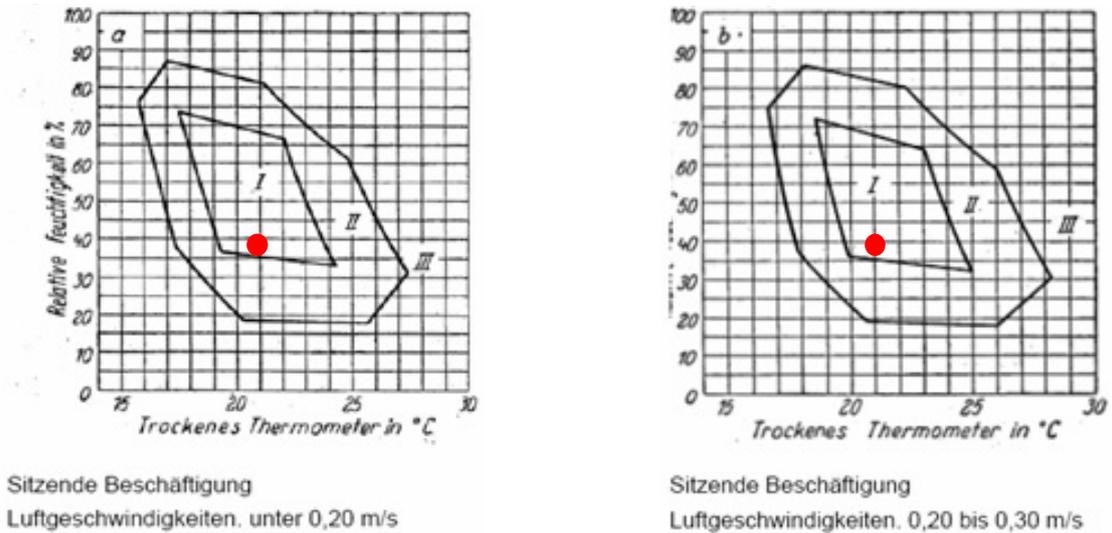


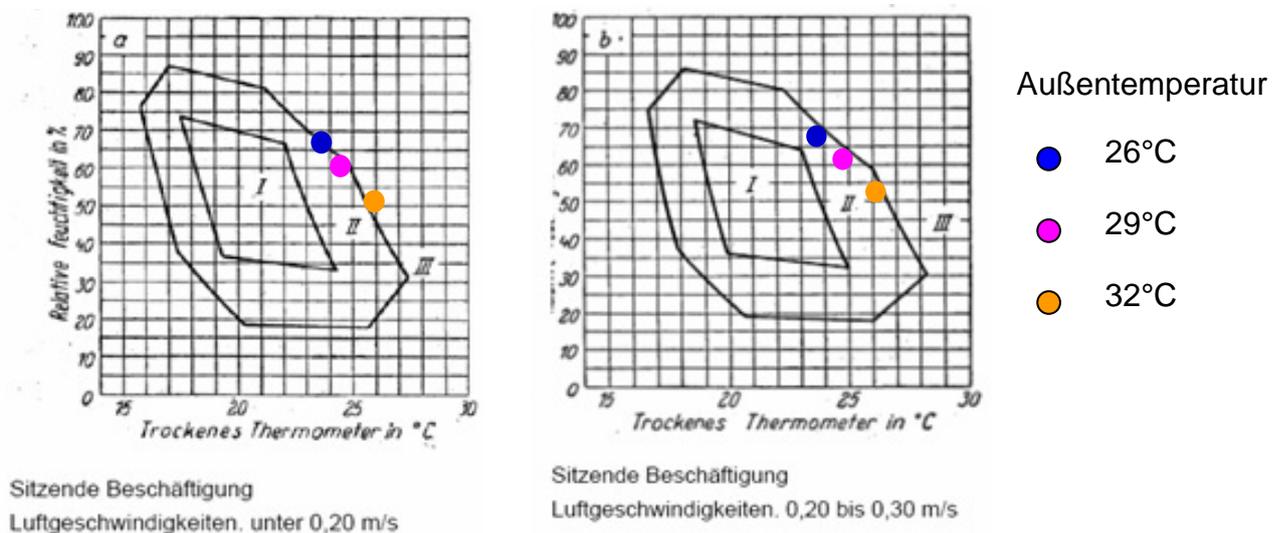
Abbildung 111 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treymark

Bei einer im Kühlfall vordefinierten relativen Außenluftfeuchte von etwa 40 Prozent bei 32°C bis zu 60 Prozent bei 26°C Außentemperatur bewegt sich die am Arbeitsplatz gemessene relative Raumluftfeuchte im Bereich zwischen 53 und 60 %. Je höher die Raumlufttemperatur, desto geringer ist die relative Luftfeuchte. Verglichen mit den

Anforderungen nach DIN EN ISO 7730 werden die Raumkomfortkriterien eingehalten. D.h. die Feuchtigkeit, die in der sommerlichen Umgebung von den Personen abgegeben wird, kann von der umgebenden Raumluft aufgenommen werden. Ein unangenehmes, feuchtes Klima im Arbeitsbereich ist nicht zu erwarten!

Bei den unter Laborbedingungen in der Klimakammer durchgeführten Untersuchungen konnte bei den Messintervallen während des Kühlens kein Kondensatausfall festgestellt werden. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass unter realen, sehr widrigen Bedingungen die Möglichkeit eines Kondensatausfalls besteht. Für diesen Fall ist am Wärmeübertrager eine Kondensatwanne vorgesehen, die die anfallende Feuchtigkeit sammelt und über die Kondensatleitung entsorgt.

Im Behaglichkeitsdiagramm, ausgewertet nach Leusden und Trey mark, befindet sich der Komfort hinsichtlich Temperatur und Feuchte im Behaglichkeitsbereich II (noch behaglich, schließt eine Gesundheitsgefährdung aus). Für die Einordnung der Behaglichkeit ist weitestgehend das Temperatur-/ Feuchtigkeitsdiagramm mit Luftgeschwindigkeiten am Arbeitsplatz bis 0,20 m/s gültig. Bei Außentemperaturen von 32°C und Leistungsstufe 2 befindet sich der Komfort infolge von Luftgeschwindigkeiten >0,20 m/s am Arbeitsplatz ebenfalls im Behaglichkeitsbereich II.



Kühlfall- Variante 2- rel. Feuchte
 Regelung der Raumtemp. mit Temperatur_Regler (Honeywell)
 Außenlufttemperatur 26,29,32°C Innere Lasten : 160 W (Vers_23_09_08_Fa)

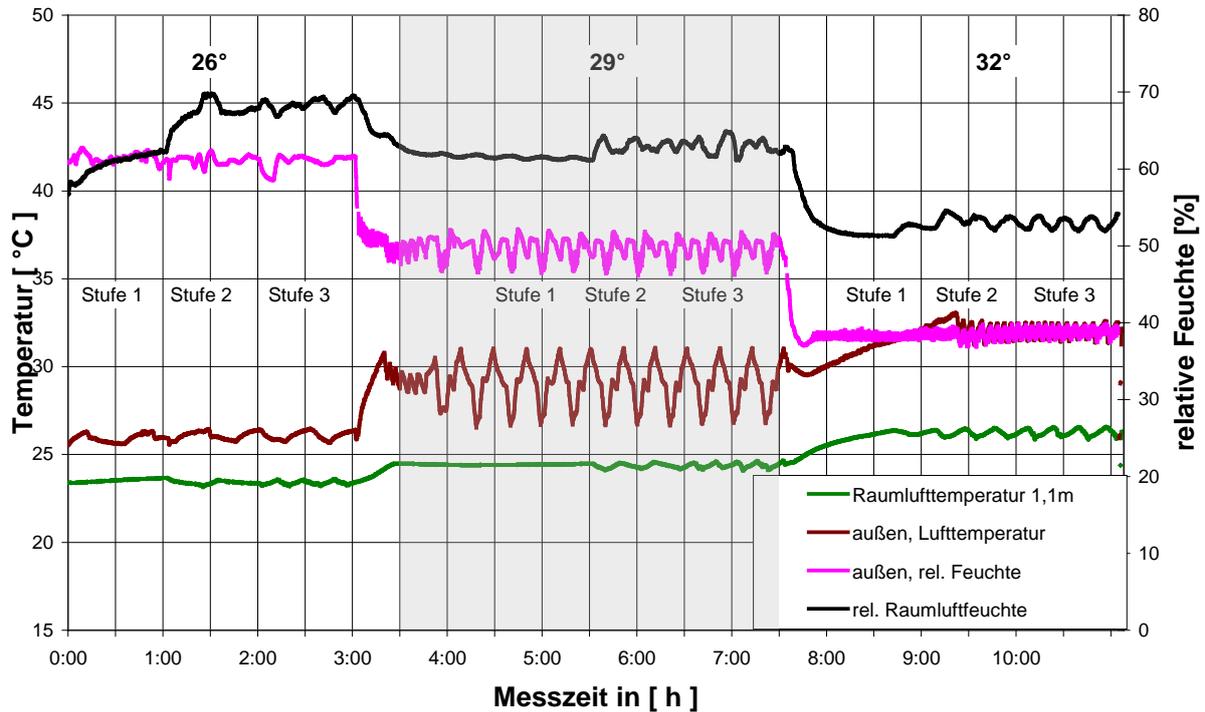


Abbildung 113 relative Feuchte im Testraum bei 26, 29, 32°C Ansaugtemperatur, Variante 2

Die Erhöhung der Leistungsstufen hat keinen nennenswerten Einfluss auf die relative Raumluftfeuchte.

6.2.4. Luftverteilung im Raum und Raumluftgeschwindigkeit für die Einbauvariante 2

Mit Hilfe von Rauchversuchen wird die Luftverteilung durch die Lüftungsgeräte auf der Innenseite der Testfassade und des Testbüros visualisiert.

Im Heizfall ist die Luftverteilung unterschiedlich der zum Kühlfall. Die für die Beheizung des Raumes konditionierte Zuluft wird mittels Ventilator aus dem Zuluftgerät geführt und steigt nach oben. Dadurch bildet sich ein „Warmluftschleier“ vor der kalten Fassade. An der Decke angekommen, wendet sich die Luftwalze in Richtung Innenraum und verwirbelt. Die Luft verteilt sich im Raum und fällt abgekühlt nach unten.

Der Abluftventilator des Lüftungsgeräts im Sturzbereich des Fensters saugt die Raumluft schließlich wieder an und fördert sie als Fortluft nach außen. Eine Wärmerückgewinnung analog zur Einbausituation 1 und 3 ist in dieser Variante nicht vorhanden! Ein achsweiser Versatz zwischen Zu- und Abluftgerät wird empfohlen, um einen möglichen Kurzschluss zu minimieren!

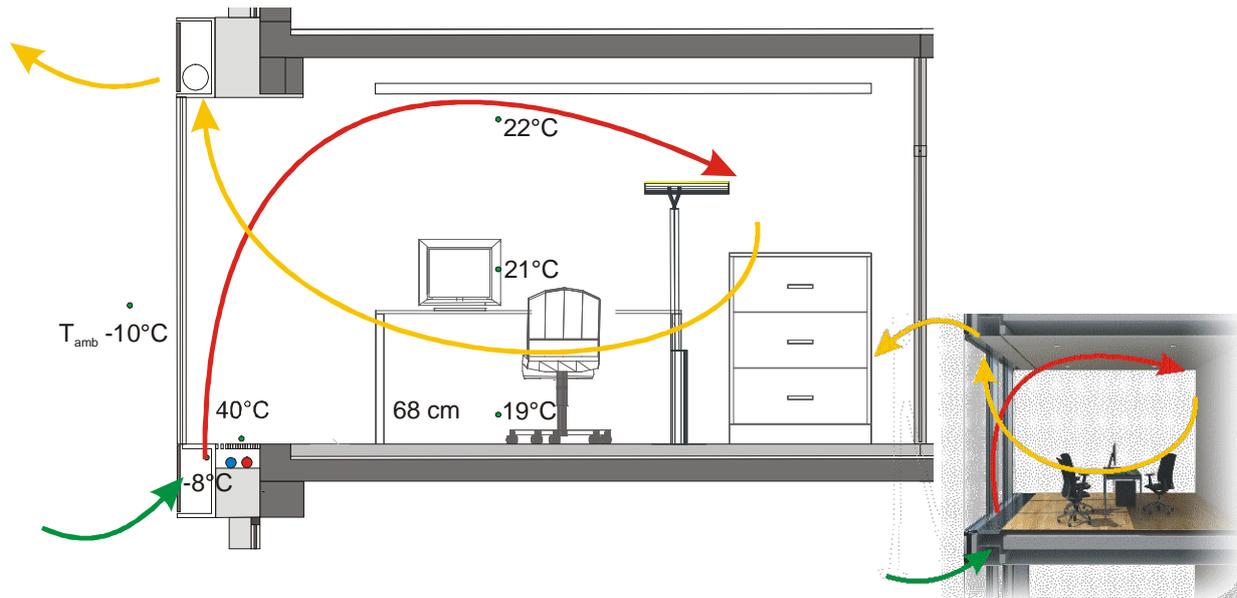


Abbildung 114 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Heizfall Einbauvariante 2

Im Kühlfall wird die konditionierte Luft aus dem Zuluftgerät nach oben in den Raum geführt, wo sie auf einer bestimmten Höhe, je nach Leistungsstufe, in Richtung Innenraum in sich zusammenfällt. Die Luft verteilt sich im Raum auf Fußbodenhöhe und steigt allmählich aufgrund der höheren Raumtemperatur nach oben – sie bildet somit eine gegenüber dem Heizfall „umgekehrte“ Luftwalze. Der Abluftventilator im Sturzbereich des Fensters saugt die Raumluft schließlich an der Fassade wieder an und fördert sie nach außen.

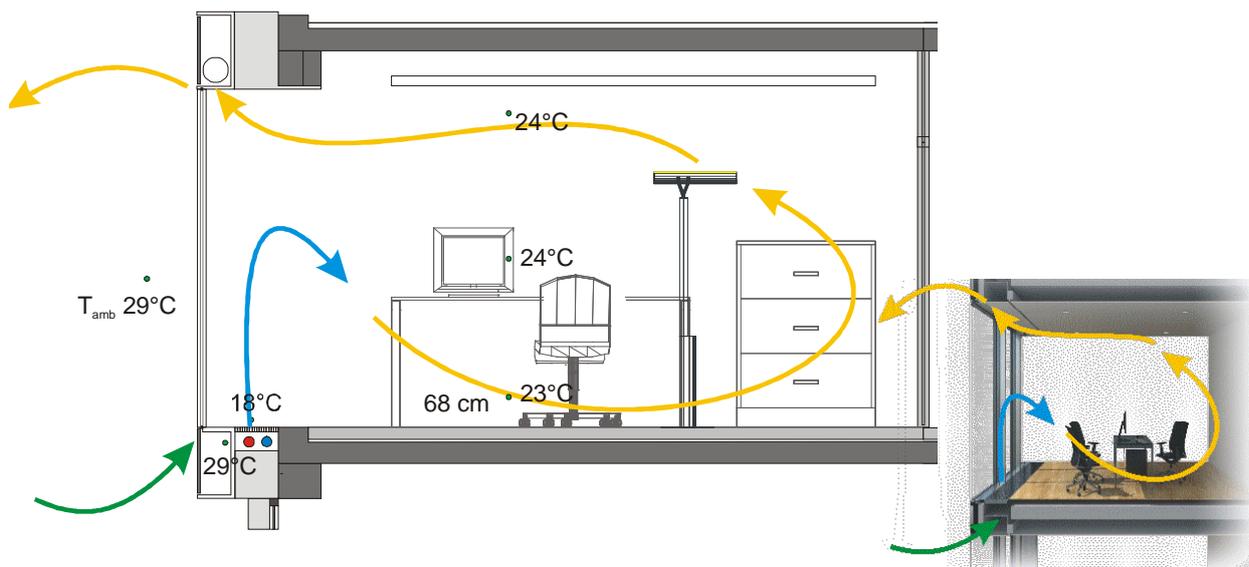


Abbildung 115 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Kühlfall Einbauvariante 2

Raumluftgeschwindigkeit

Geschwindigkeitsmessfühler, die im Arbeitsplatzbereich in 0,1 m, 1,1 m und 1,8 m Höhe angebracht sind, nehmen die Luftgeschwindigkeiten in Zentimeter pro Sekunde [cm/s] auf. Die Messergebnisse werden mit den Komfortanforderungen nach DIN EN ISO 7730 hinsichtlich des Zugluftrisikos verglichen. Anschließend kann der gegebene Komfort kategorisiert werden.

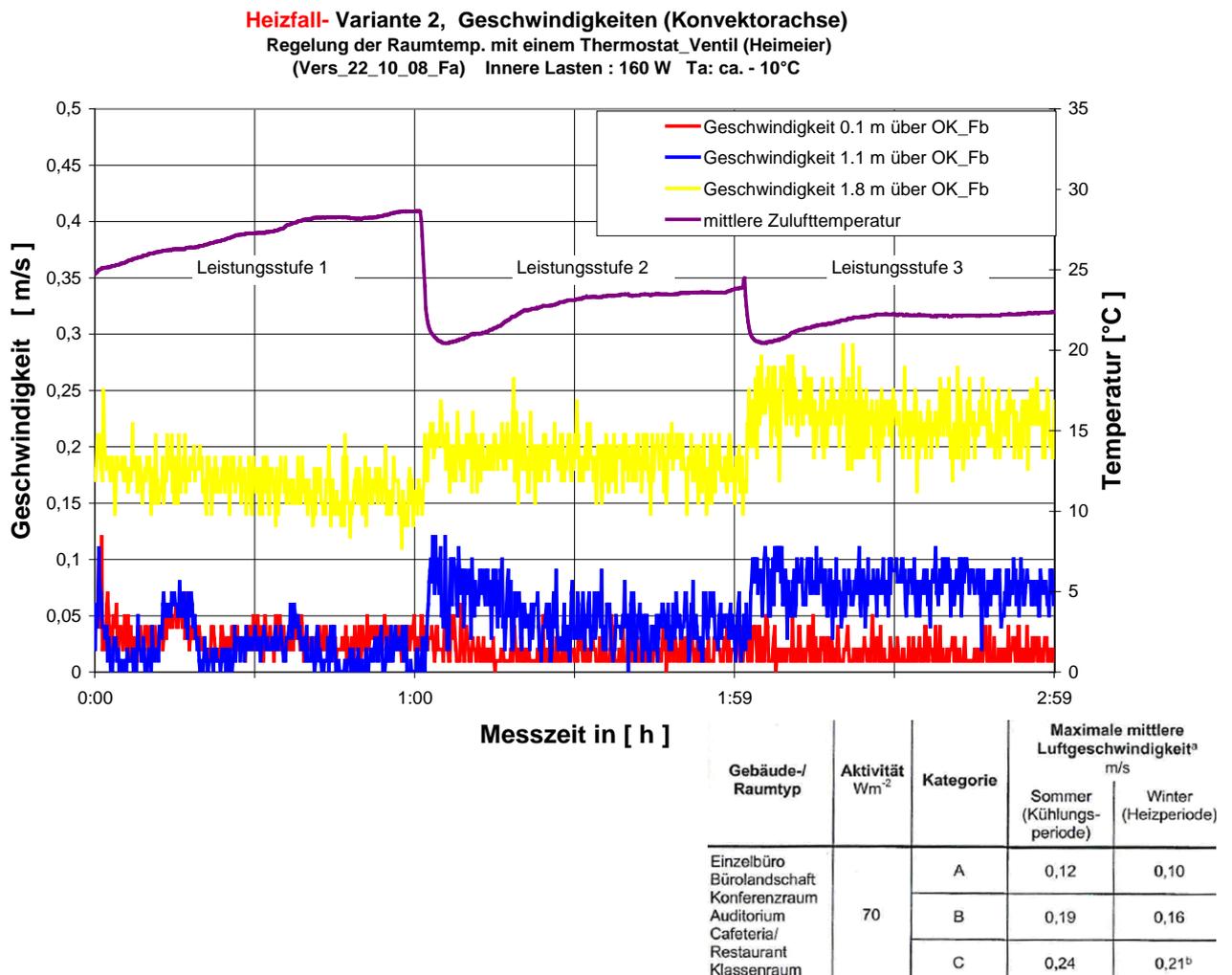


Abbildung 116 Heizfall- Geschwindigkeiten Raum, Variante 2

Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730

Die Kriterien für die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit sind unter Berücksichtigung einer Bekleidung von 0,5 clo im Sommer und 1,0 clo im Winter auf übliche Tätigkeitsgrade bezogen. Die angegebene Aktivität von 70 Wm⁻² entspricht dem Energieumsatz bei einer sitzenden Tätigkeit im Büro.

Die Auswertung der Messergebnisse verdeutlicht, dass am Arbeitsplatz, also in einer Höhe von 1,1 m (blaue Linie), nach DIN EN ISO 7730 die Kategorie A eingehalten wird. Eine maximale mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,1 m/s bzw. 10 cm/s wird im Winter bei allen drei Leistungsstufen unterschritten.

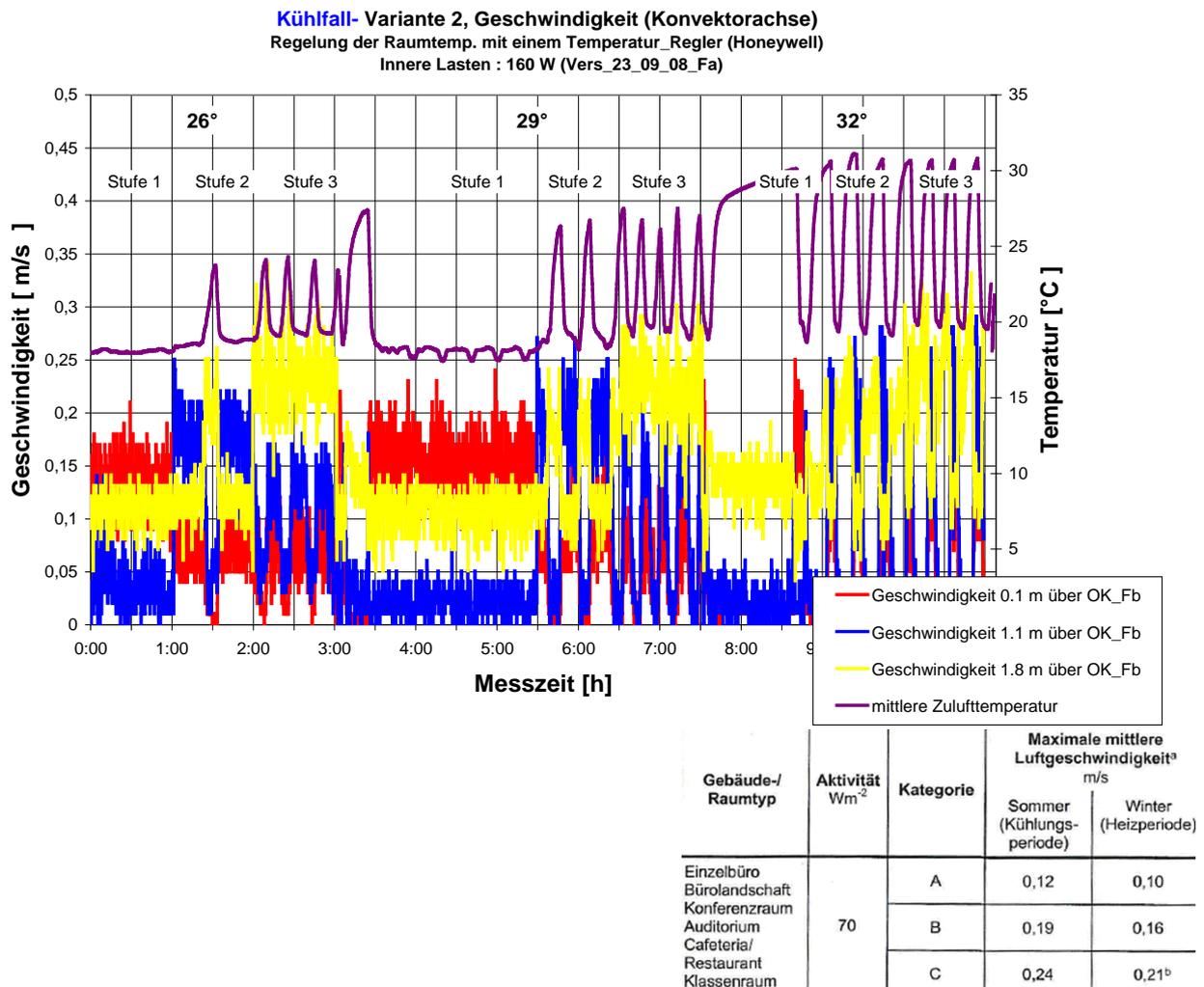


Abbildung 117 Kühlfall- Geschwindigkeit im Raum Variante 2
Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730

Aufgrund des Einsatzes eines 2-Punkt-Reglers zur Regelung der Raumlufttemperatur, taktet das Lüftungsgerät, d.h. das Lüftungsgerät ist nur bei Kühlbedarf eingeschaltet. Die Auswertung der Messergebnisse zeigt, dass die Luftgeschwindigkeiten im Raum je Leistungsstufe und sommerlicher Außentemperatur vergleichbar sind.

Aus den Messergebnissen des Kühlfalls ist ersichtlich, dass die Raumluftgeschwindigkeiten am Arbeitsplatz höher sind als im Heizfall. Während die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit nach DIN EN ISO 7730 bei den Außentemperaturen von 26°C und 29°C je nach Leistungsstufe des Ventilators zwischen Kategorie A und B schwankt, ist bei einer

Außentemperatur von 32°C eine Abstufung in Kategorie C bei Leistungsstufe 3 möglich, die sich wiederum positiv auf den Temperatur- Feuchte- Komfort im Raum auswirkt; feuchte Lasten werden schneller abgeführt. Zugserscheinungen treten erst bei Überschreitung der empfohlenen Luftgeschwindigkeiten auf.

6.3. Einbauvariante 3

6.3.1. Raumlufthtemperatur, globale Temperatur

Die Messungen zur Raumlufthtemperatur und zur globalen Temperatur erfolgen bei Einbauvariante 3 für den Heiz- und Kühlfall bei jeweils 3 Außentemperaturen. In Abbildung 118 und Abbildung 120 sind die Temperaturen an verschiedenen Stellen in der Klimakammer gemessen und in einer Grafik zusammengefasst. Dabei wird der Temperaturverlauf der Zuluft vom Außenraum, über das Deckengerät nach Innen dargestellt. In den anderen Grafiken werden die Messergebnisse im Heizfall am Beispiel der geringsten Außentemperatur von -10°C und im Kühlfall bei den Außenlufttemperaturen von 26, 29 und 32°C grafisch dargestellt. Die Messdauer beträgt für alle Temperaturen jeweils drei Stunden.

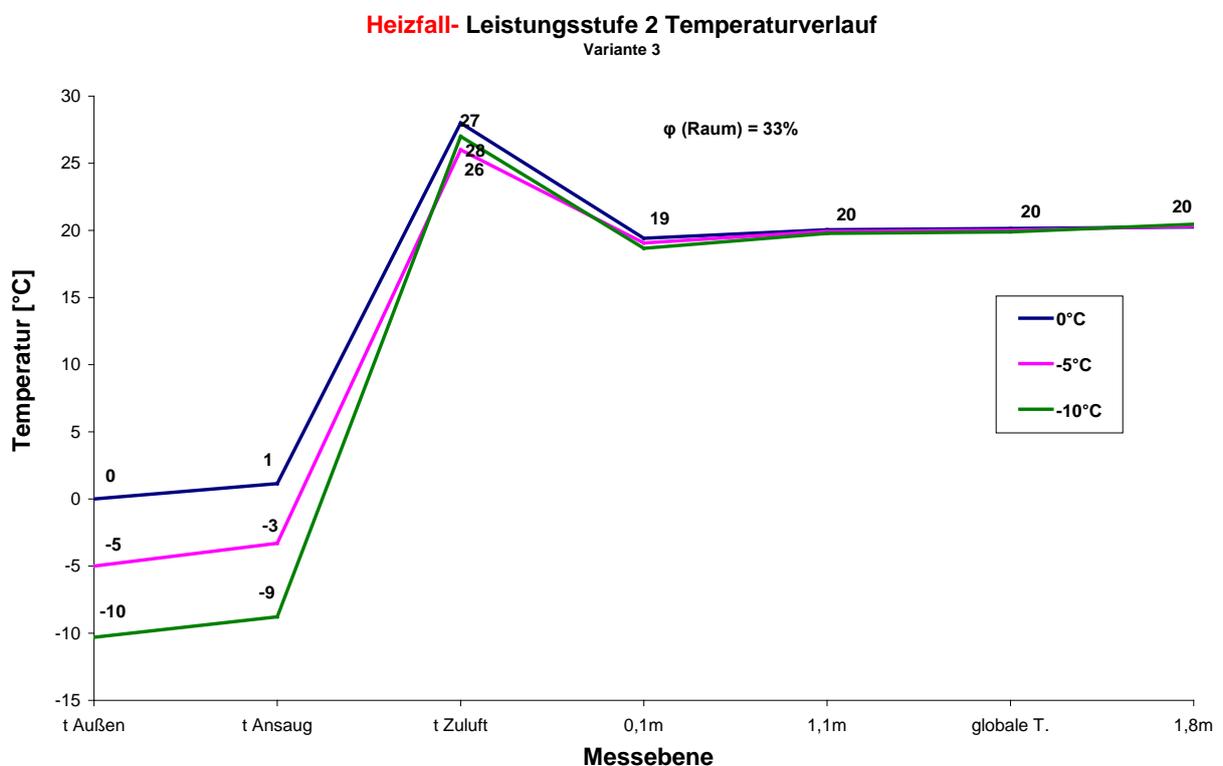


Abbildung 118 Temperaturverlauf (Variante 3) – Leistungsstufe 2, Heizfall

Abweichungen der Zulufttemperatur bei den simulierten Außenbedingungen des Heizfalls liegen in voneinander abweichenden Vorlauftemperaturen mit maximal 2 Kelvin begründet. Abbildung 118 zeigt, dass trotz Außentemperaturen von 0 bis -10°C die Wärmerückgewinnung und die Leistung des Konvektors unter Laborbedingungen ausreichen, um auf Arbeitsplatzhöhe Raumlufthtemperaturen von 20°C einzuhalten. In Fußbodennähe wird die Solltemperatur um 1 K unterschritten. Die Einbausituation im Deckenbereich und der thermischer Auftrieb warmer Luft führen unabhängig von der Leistungsstufe des Ventilators zu einer konstanten Schichtung. Die Werte werden analog zur

DIN EN 12831 (Heizlastberechnung) ohne den Einfluss solarer Einstrahlung auf die Fassade ermittelt.

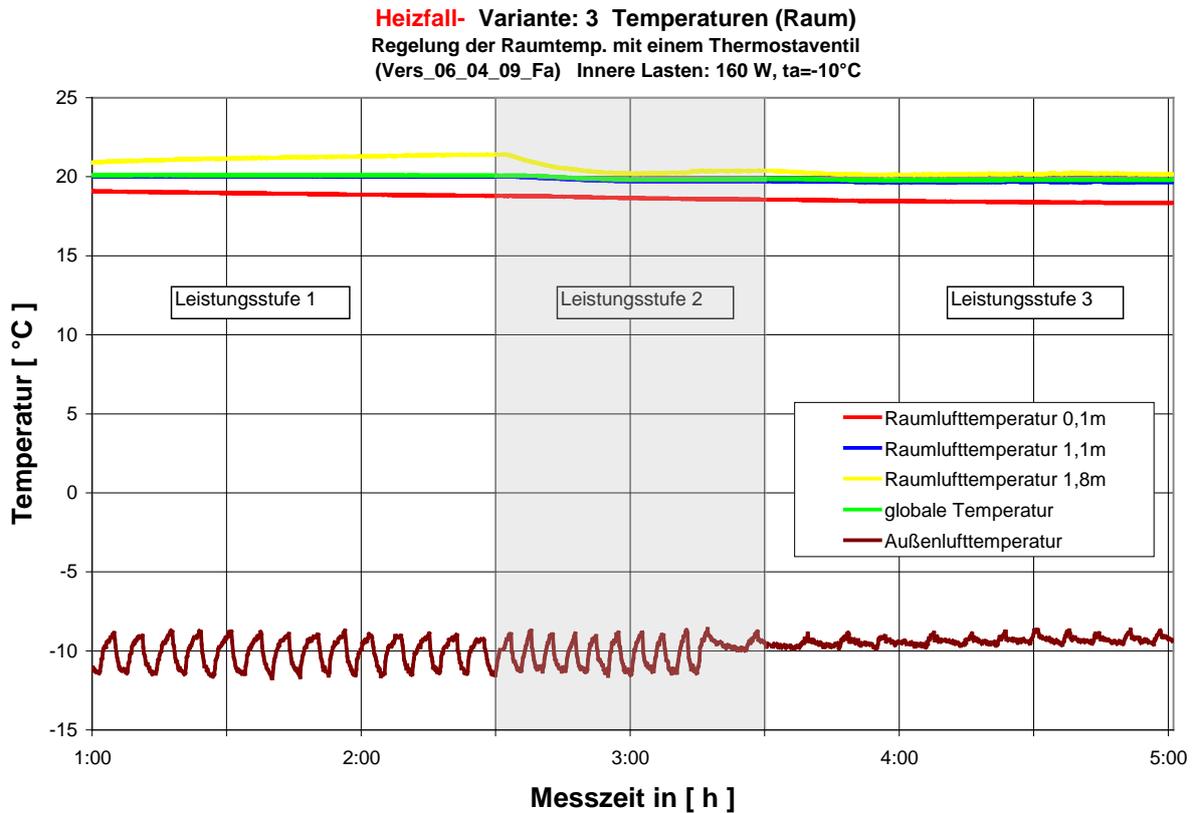


Abbildung 119 Raumlufttemperatur, globale Temperatur bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 3

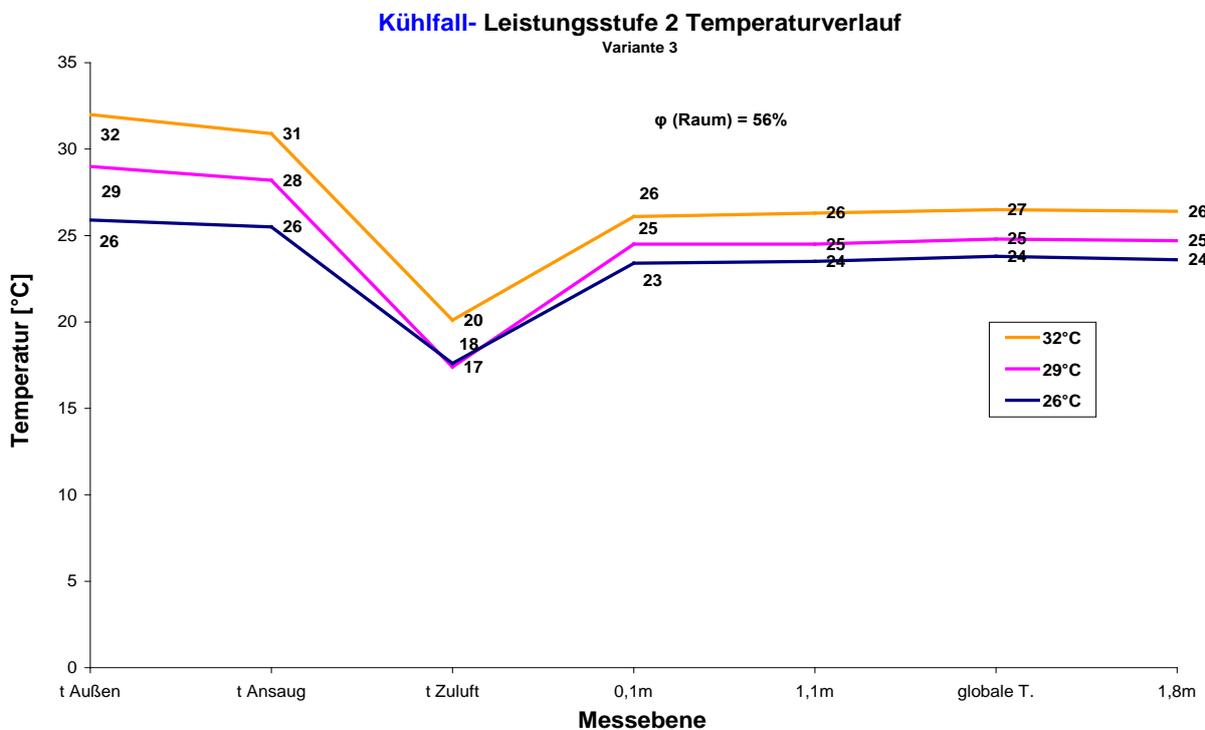


Abbildung 120 Temperaturverlauf (Variante 3) – Leistungsstufe 2, Kühlfall

In Abbildung 121 ist zu erkennen, dass auch im Kühlfall die Wärme- /Kälterückgewinnung, sowie die Leistung des Konvektors unter Laborbedingungen ausreichen, um im Innenraum behagliche Raumtemperaturen zu gewährleisten. Die Raumluft-Solltemperatur variiert je nach Außenluft zwischen 24°C und 26°C am Arbeitsplatz.

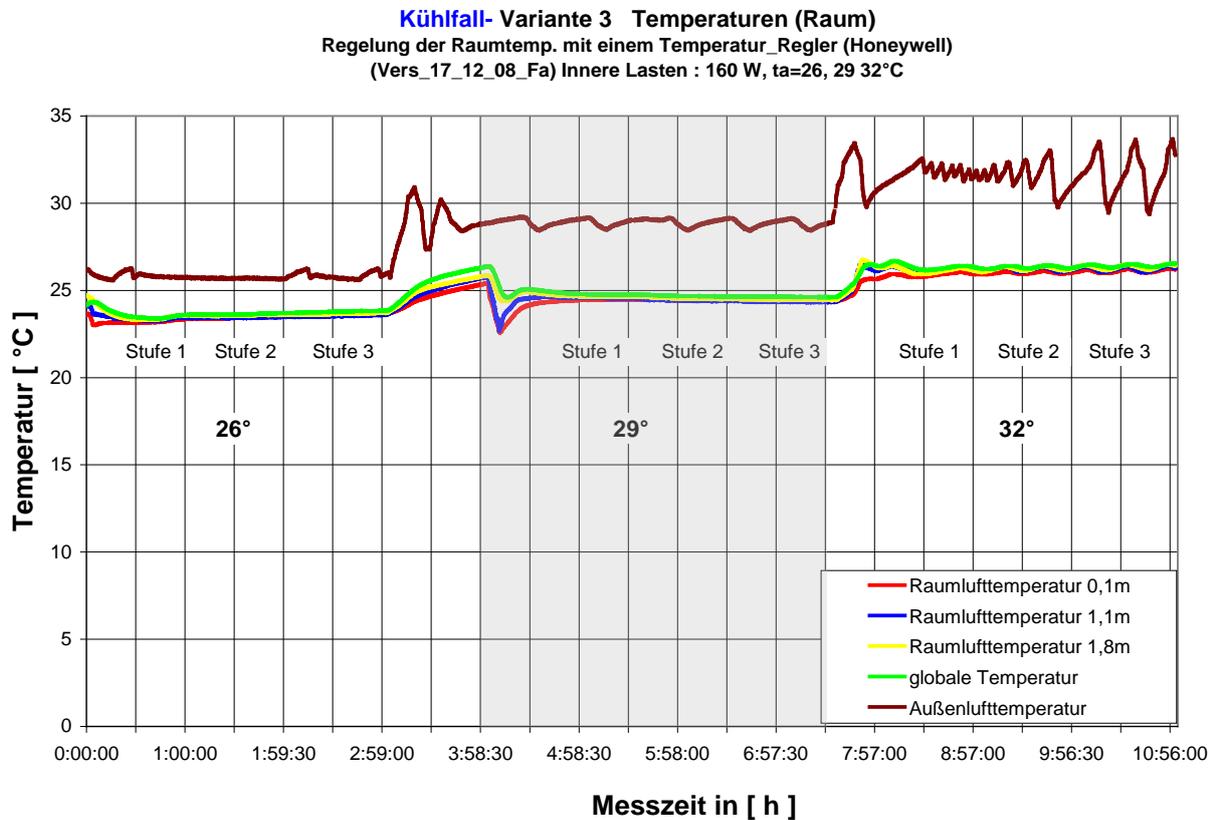


Abbildung 121 Raumlufttemperatur, globale Temperatur bei 26, 29, 32°C Ansaugtemperatur, Variante 3

Nach DIN EN ISO 7730 sollte der vertikale Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fußgelenken (0,1 m und 1,1 m) aus Behaglichkeitsgründen < 3 K betragen. Diese Bedingung ist, wie in Abbildung 119 (Heizfall) und in Abbildung 121 (Kühlfall) ersichtlich, erfüllt.

6.3.2. Oberflächentemperaturen an der Fassade

Die Ergebnisse der Oberflächentemperaturen und die damit verbundene Untersuchung zur Tauwasserbetrachtung für den Heizfall sind in den folgenden Diagrammen dargestellt.

Heizfall- Variante 3 Fassaden _ Oberflächentemperaturen
 Regelung der Raumtemp. mit Thermostatventil
 (Vers_02_04_09_Fa) Innere Lasten: 160 W, ta=-10°C

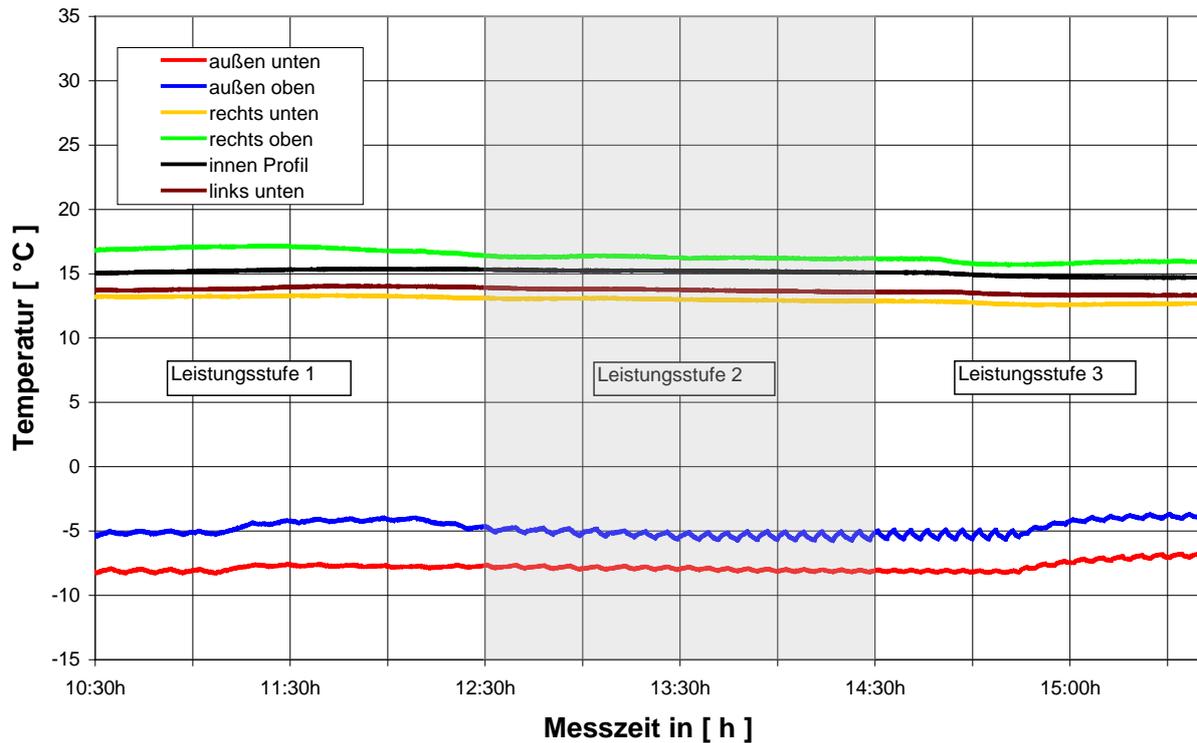


Abbildung 122 Oberflächentemperaturen Fassade bei -10°C Außenlufttemperatur, Variante 3

Kühlfall- Variante 3 Fassaden _ Oberflächentemperaturen
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 (Vers_17_12_08_Fa), Innere Lasten: 160 W

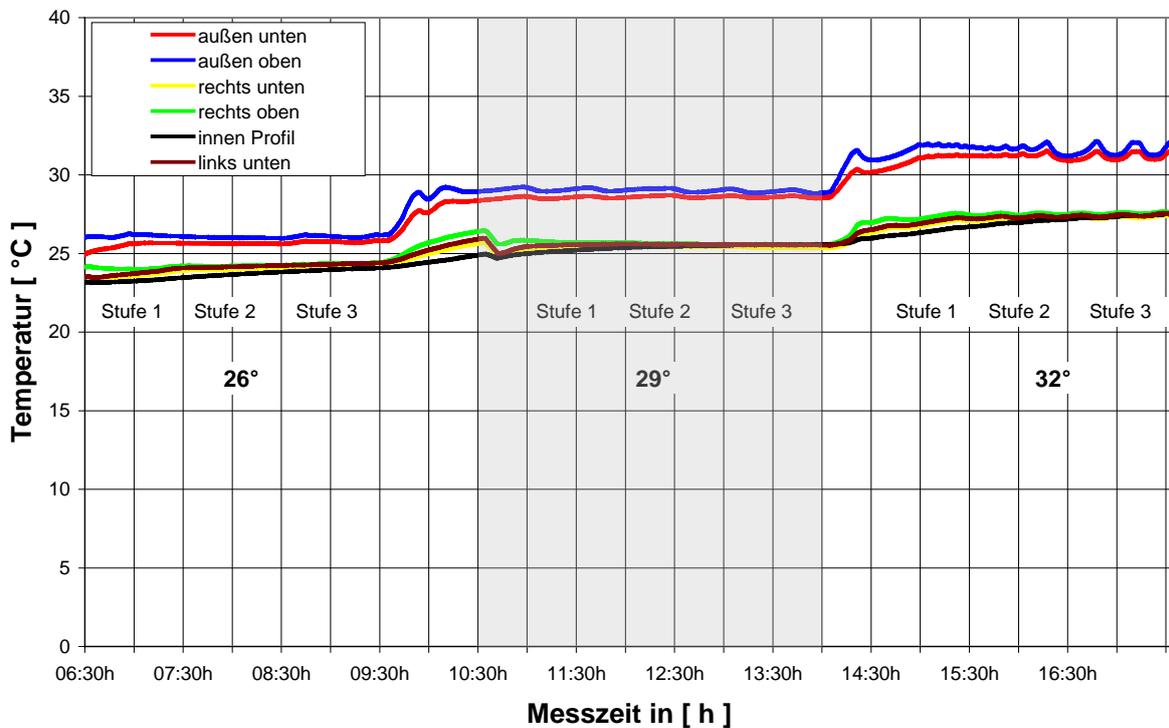


Abbildung 123 Oberflächentemperaturen Fassade bei 26, 29, 32°C, Variante 3 (ohne solare Einstrahlung)

Bei einer Messzeit von 2 Stunden je Leistungsstufe im Heizfall sind keine nennenswerten Temperaturunterschiede an den Fassadenoberfläche zu verzeichnen.

Die Messergebnisse verdeutlichen, dass bei Einbauvariante 3 die Taupunkttemperatur nach Berücksichtigung des h/x-Diagramms nicht unterschritten wird – ein möglicher Kondensatausfall wird vermieden.

6.3.3. Relative Raumlufffeuchte

Bei einer im Heizfall vordefinierten relativen Außenluftfeuchte von etwa 75 % bei -10°C Außentemperatur bewegt sich die im Arbeitsplatzbereich gemessene relative Raumlufffeuchte zwischen 30 und 40 % (siehe Abbildung 124). Verglichen mit den Anforderungen nach DIN EN ISO 7730 werden die Anforderungen an den Raumkomfort eingehalten. Die relative Raumlufffeuchte befindet sich in Abhängigkeit von der Temperatur im Raum im Behaglichkeitsbereich I (behaglich), ausgewertet nach Leusden und Treymark (siehe Abbildung 125).

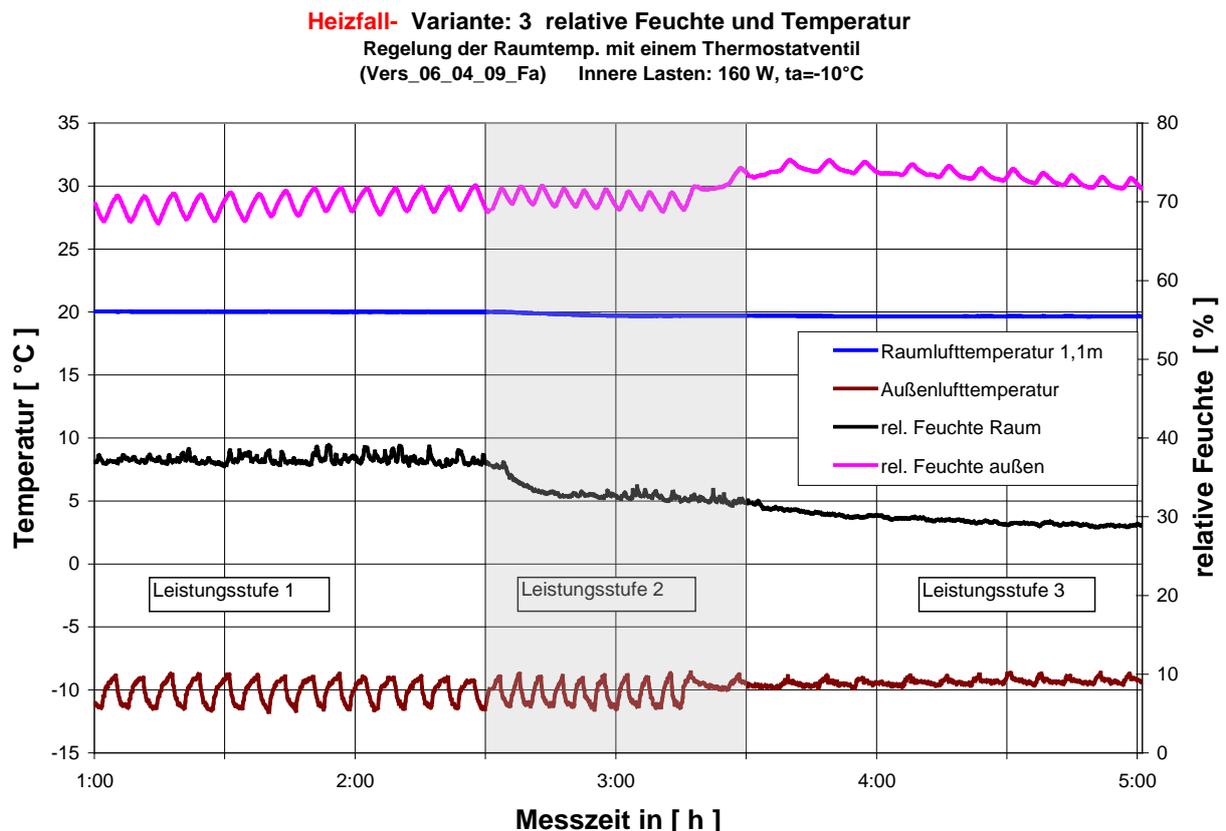


Abbildung 124 relative Feuchte im Testraum bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 3, Heizfall

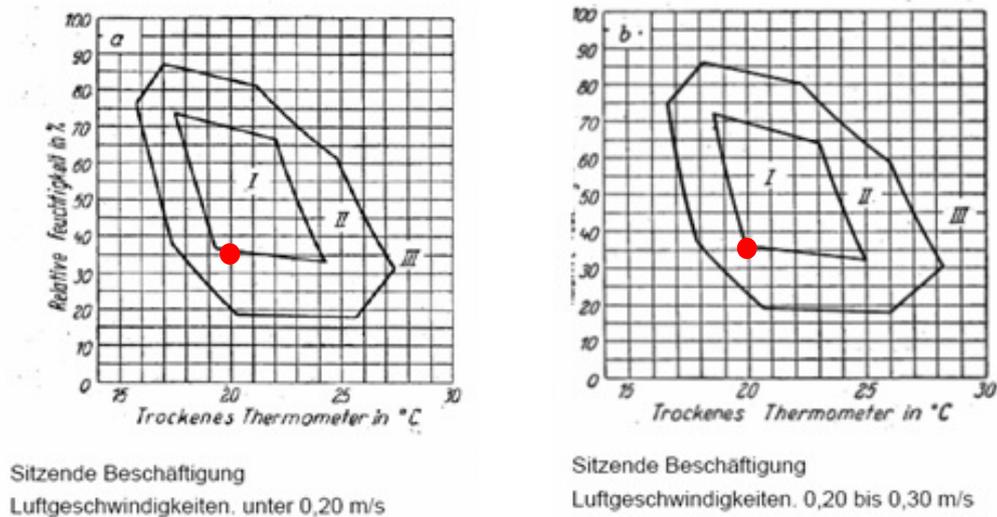


Abbildung 125 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treymark

Bei einer im Kühlfall vordefinierten relativen Außenluftfeuchte von etwa 35 Prozent bei 32°C bis zu 60 Prozent bei 26°C Außentemperatur bewegt sich die am Arbeitsplatz gemessene relative Raumlufffeuchte im Bereich zwischen 50 und 60 %. Je höher die Raumlufftemperatur, desto geringer ist die relative Luftfeuchte. Verglichen mit den Anforderungen nach DIN EN ISO 7730 werden die Raumkomfortkriterien eingehalten. D.h. die Feuchtigkeit, die in der sommerlichen Umgebung von den Personen abgegeben wird, kann von der umgebenden Raumluff aufgenommen werden. Ein unangenehmes, feuchtes Klima im Arbeitsbereich ist nicht zu erwarten!

Bei den unter Laborbedingungen in der Klimakammer durchgeführten Untersuchungen konnte bei den Messintervallen während des Kühlens kein Kondensatausfall festgestellt werden. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass unter realen, sehr widrigen Bedingungen die Möglichkeit eines Kondensatausfalls besteht. Für diesen Fall ist am Wärmeübertrager eine Kondensatwanne vorgesehen, die die anfallende Feuchtigkeit sammelt und über die Kondensatleitung entsorgt.

Im Behaglichkeitsdiagramm, ausgewertet nach Leusden und Treymark, befindet sich der Komfort hinsichtlich Temperatur und Feuchte im Behaglichkeitsbereich II (noch behaglich, schließt eine Gesundheitsgefährdung aus). Für die Einordnung der Behaglichkeit ist weitestgehend das Temperatur-/ Feuchtigkeitsdiagramm mit Luftgeschwindigkeiten am Arbeitsplatz bis 0,20 m/s gültig. Dieser Komfortanspruch wird in der Raumhöhe von 1,80 m mit dem Deckengerät nicht erfüllt, denn die Luftgeschwindigkeiten sind wesentlich größer als 0,30 m/s. Im realen Büro beträgt die Raumhöhe mindestens 2,50 m – somit verschiebt sich der Luftauslass um 70 cm nach oben und die Geschwindigkeiten in einer Raumhöhe von

1,80 m verringern sich. Diese Messung ist aufgrund der baulichen Gegebenheiten in der Klimakammer nicht möglich.

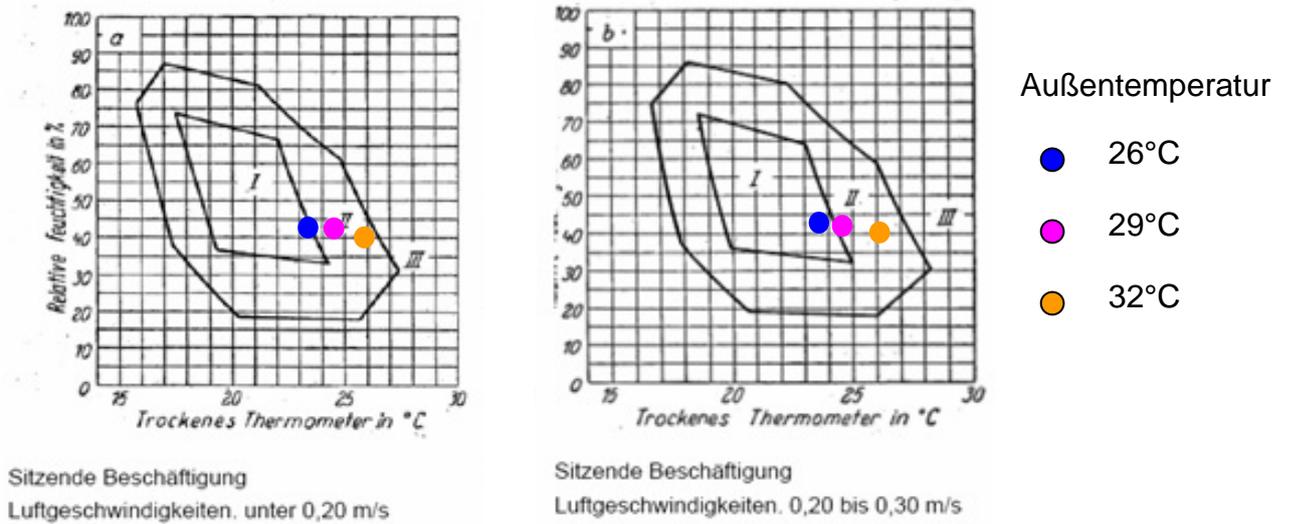


Abbildung 126 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treyrmark

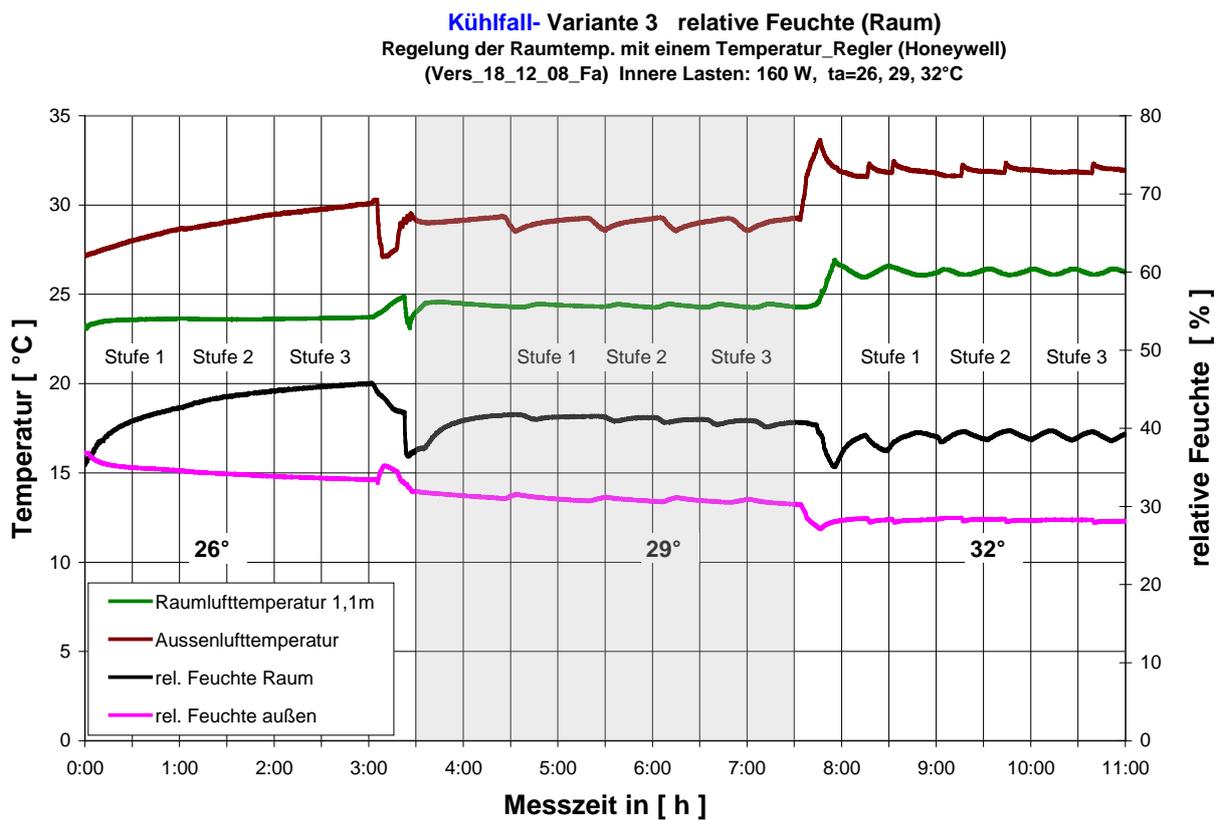


Abbildung 127 relative Raumlufffeuchte, Variante 3, Kühlfall

6.3.4. Luftverteilung im Raum und Raumluftgeschwindigkeit für die Einbauvariante 3

Mit Hilfe von Rauchversuchen wird die Luftverteilung durch die Lüftungsgeräte auf der Innenseite der Testfassade und des Testbüros visualisiert.

Die Luftverteilung im Raum ist für den Heiz- und Kühlfall vergleichbar. Durch die Möglichkeit der Lamelleneinstellung am Luftauslass wird für beide Betriebszustände die Zuluft mit einem Winkel von ca. 30° in den Innenraum geführt.

Die für die Beheizung des Raumes konditionierte Zuluft wird durch den Ventilator aus dem Deckengerät eingeblasen und verteilt sich gleichmäßig im oberen Bereich des Raumes. Die eingebrachte Luft kühlt sich ab und bildet eine Luftwalze in Richtung Fußboden. Der Abluftventilator des Deckengeräts saugt schließlich die Abluft aus dem Raum wieder an und befördert sie, nachdem sie die Wärmerückgewinnung passiert hat, als Fortluft in den Außenraum.

In allen drei Einbauvarianten ist im Heizfall eine Temperaturschichtung im Raum zu erkennen. Die Temperaturdifferenz zwischen Decke und Boden beträgt 1-3 K. Bei der Einbauvariante 3 werden im Zuluftbereich ca. 20-22°C gemessen, in Fußbodennähe stellt sich eine Temperatur von ca. 19°C ein. Am Arbeitsplatz auf 1,1 m Raumhöhe wird die Raumluft-Solltemperatur von 20°C eingehalten!

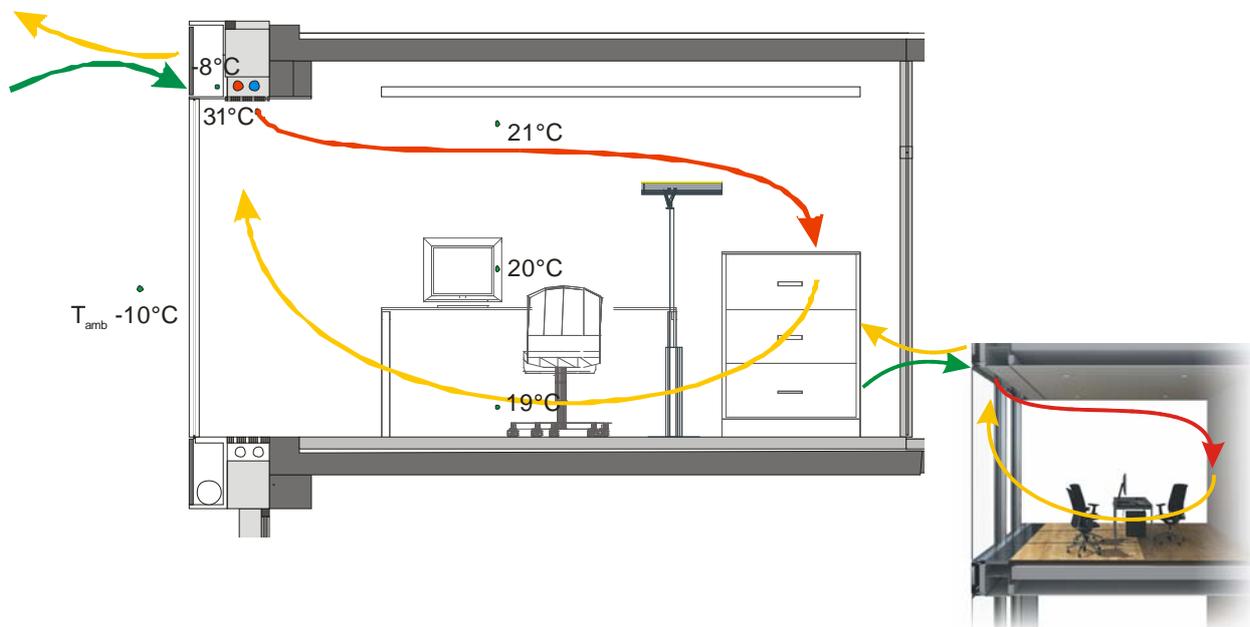


Abbildung 128 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Heizfall Einbauvariante 3

Im Kühlfall wird die konditionierte Luft aus dem Zu- und Abluftdeckengerät in einem Winkel von 30° in den Innenraum geführt. Die warme Luft bleibt im oberen Bereich des Raumes und verteilt sich gleichmäßig über die Raumbreite (Coanda-Effekt). Erst in der Raumtiefe bildet sich eine Luftwalze aus, so dass die Luft gleichmäßig in Richtung Fußboden abfällt. Der Abluftventilator des Deckengeräts saugt die Raumluft an der Fassade wieder an und führt sie, nachdem sie die Wärmerückgewinnung passiert hat, dem Außenraum zu.

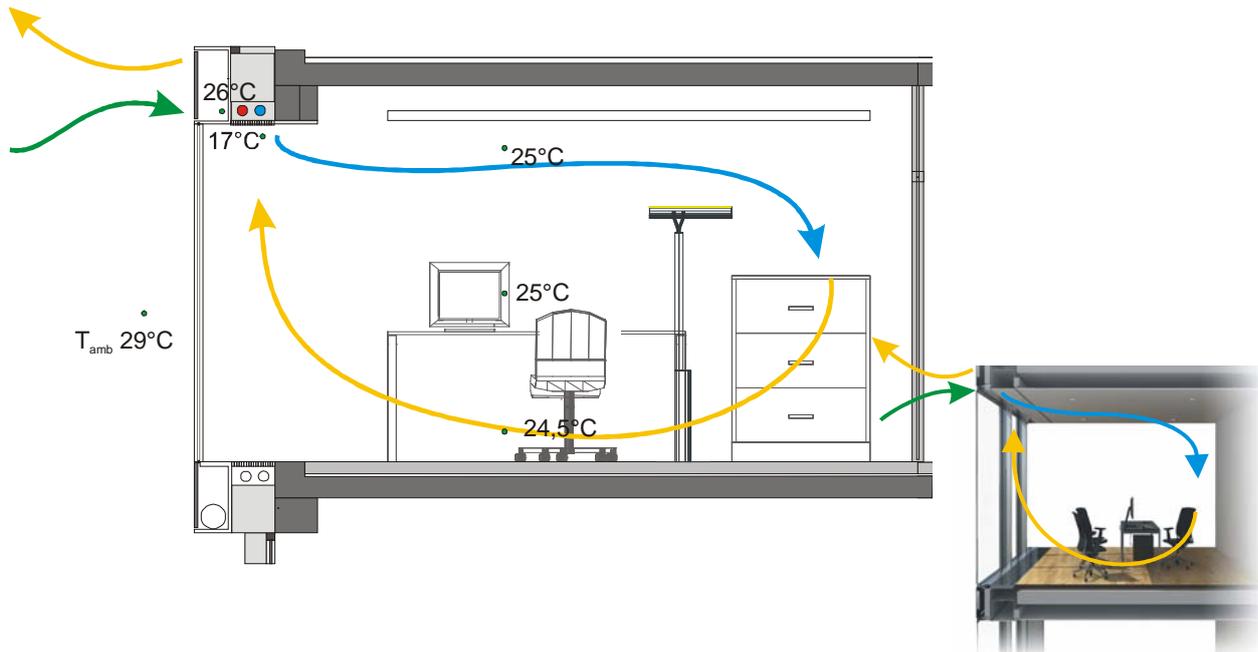


Abbildung 129 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Kühlfall Einbauvariante 3

Raumluftgeschwindigkeit

Geschwindigkeitsmessfühler, die im Arbeitsplatzbereich in 0,1 m, 1,1 m und 1,8 m Höhe angebracht sind, nehmen die Luftgeschwindigkeiten [cm/s] auf. Die Messergebnisse werden mit den Komfortanforderungen nach DIN EN ISO 7730 verglichen. Anschließend kann der gegebene Komfort kategorisiert werden.

Heizfall- Variante: 3 Geschwindigkeiten (Konvektorachse)

Regelung der Raumtemp. mit einem Thermostatventil
(Vers_06_04_09_Fa) Innere Lasten : 160 W, $t_a = -10^\circ\text{C}$

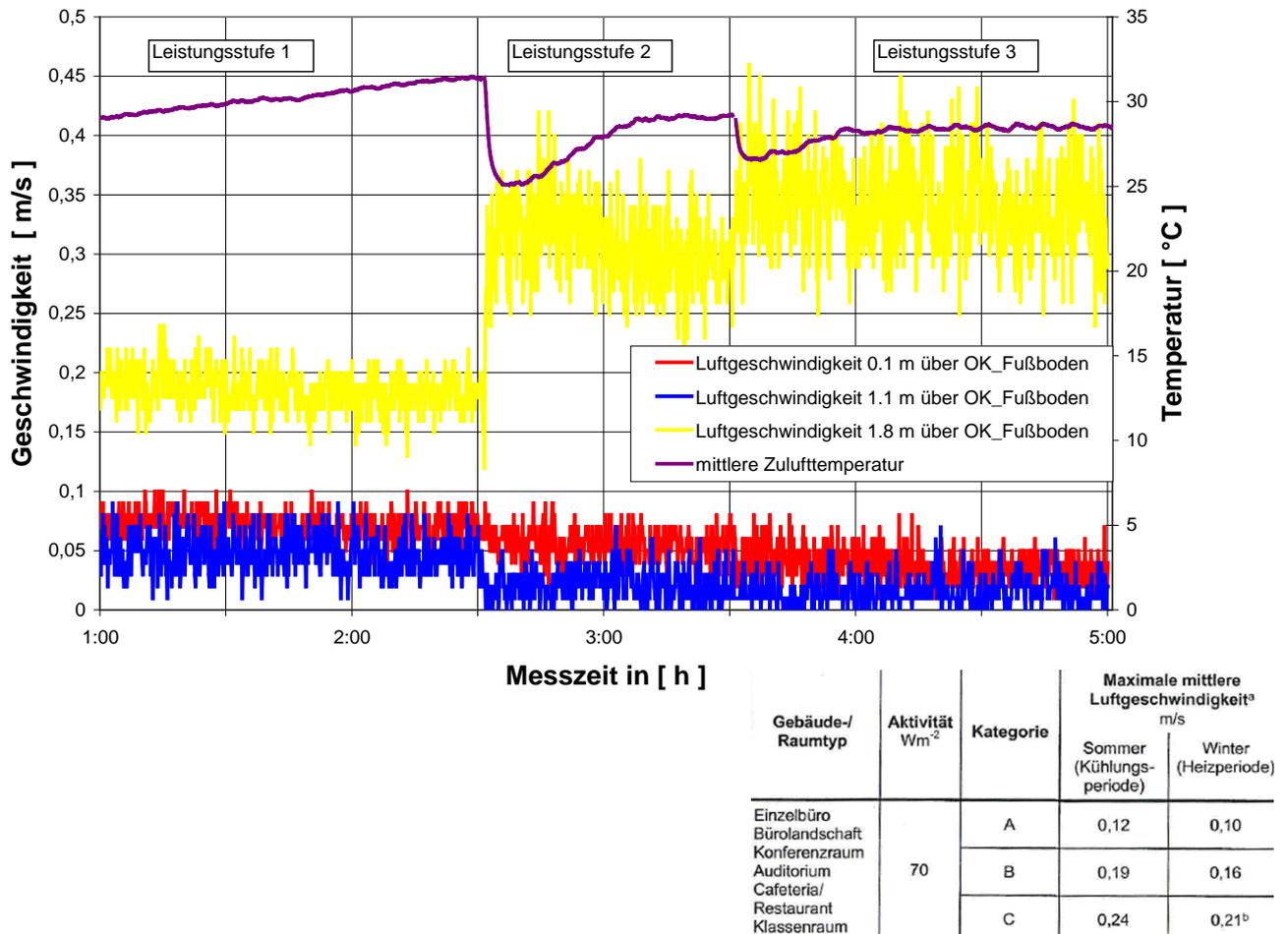


Abbildung 130 Heizfall- Geschwindigkeiten Raum, Variante 3

Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730

Die Kriterien für die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit sind auf übliche Tätigkeitsgrade bezogen, unter Berücksichtigung einer Bekleidung von 0,5 clo im Sommer und 1,0 clo im Winter. Die angegebene Aktivität von 70 Wm^{-2} entspricht dem Energieumsatz bei einer sitzenden Tätigkeit im Büro.

Die Auswertung der Messergebnisse verdeutlicht, dass am Arbeitsplatz, also in einer Höhe von 1,1 m (blaue Linie), nach DIN EN ISO 7730 die Kategorie A eingehalten wird. Eine maximale mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,1 m/s bzw. 10 cm/s wird im Winter bei allen drei Leistungsstufen unterschritten.

Kühlfall- Variante: 3, Geschwindigkeiten (Konvektorachse)
 Regelung der Raumtemp. mit einem Temperatur_Regler (Honeywell)
 (Vers 17 12 08 Fa) Innere Lasten: 160 W, ta=26, 29, 32°C

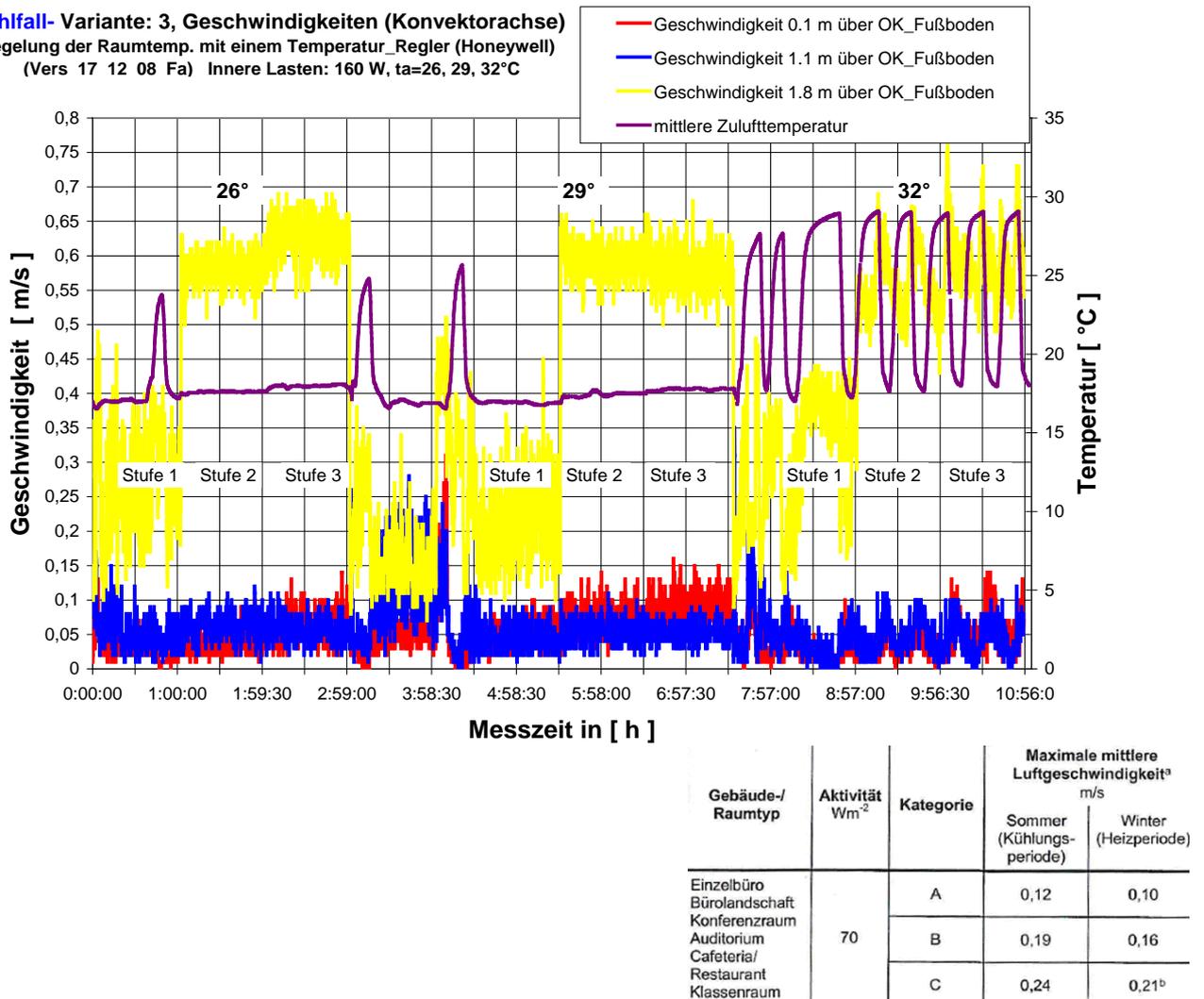


Abbildung 131 Kühlfall- Geschwindigkeit im Raum Variante 3

Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730

Aus den Messergebnissen des Kühlfalls ist ersichtlich, dass die Raumluftgeschwindigkeiten am Arbeitsplatz höher sind als im Heizfall. Dennoch wird bei dieser Variante die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit nach DIN EN ISO 7730 bei den Außentemperaturen von 26°C, 29°C und 32°C von 0,1 m/s, in Raumhöhe von 0,1 m sowie 1,1 m und somit die Kategorie A eingehalten.

In einer Raumhöhe von 1,8 m sind die hohen Luftgeschwindigkeiten bei Leistungsstufe 1 bis 3 im Heiz- und Kühlfall für die Auswertung und damit für die Beurteilung hinsichtlich des Komforts nicht relevant, da sich baulich bedingt der Luftauslass in der Klimakammer in dieser Höhe befindet. Reale Büroräume haben eine Raumhöhe von mindestens 2,50 m. Somit verschiebt sich der Luftauslass des Deckengerätes um 70 cm nach oben.

Kapitel 7

Variantenvergleich

7. VERGLEICH DER EINBAUVARIANTEN

7.1. Vergleich der Konvektorleistung für Einbauvariante 1, 2 und 3

Die Konvektorleistungen werden für den Heiz- und Kühlfall ermittelt. Dabei wird ein Wasservolumenstrom von 100, 150 und 200 l/h berücksichtigt. Die Regelung der Raumlufttemperatur erfolgt in der ersten Messreihe über eine 2-Punkt-Regelung, im zweiten Durchlauf über ein Thermostatventil.

Beide Messergebnisse aus der Klimakammer (gerundete Werte) werden in den folgenden Tabellen dargestellt.

Messung der Konvektorleistung mit einem 2-Punkt-Regler bei verschiedenen Leistungsstufen am Beispiel von -5°C Ansaugtemperatur (Heizfall) und 26, 29 bzw. 32°C Ansaugtemperatur (Kühlfall)

Messung Einbauvariante 1: 07.10.08

Messung Einbauvariante 2: 16.09.08

Messung Einbauvariante 3: 18.02.09

$t_{VL}=53^{\circ}\text{C}$

	Außenlufttemperatur	Lüfterstufe	Volumenstrom [l/h]	Konvektorleistung [W]		
	[°C]			Variante1	Variante2	Variante3
Heizfall	-10	1	200	900	1100	940
			150	850	1050	850
			100	840	1000	840
	-10	2	200	1250	1400	1350
			150	1230	1400	1300
			100	1200	1400	1200
	-10	3	200	1450	1800	1500
			150	1350	1700	1430
			100	1300	1600	1350
Kühlfall	26	1	100	150	190	160
			100	185	220	210
			100	220	240	240
	29	1	150	190	250	210
			150	245	310	285
			150	290	350	320
	32	1	200	270	290	260
			200	330	420	360
			200	380	460	400

Tabelle 18 Konvektorleistung – Regelstrategie: 2-Punkt-Regelung

Die Ergebnisse mit der 2-Punkt-Regelung zeigen, dass die Konvektorleistung für die Einbauvarianten 1 und 3 bei den verschiedenen Volumenströmen vergleichbar sind. Die geringfügigen Unterschiede werden auf Messungenauigkeiten zurückgeführt. Einbauvariante 2 weist aufgrund der fehlenden Wärmerückgewinnung eine höhere Konvektorleistung im Vergleich zu den Einbauvarianten 1 und 3 auf.

Messung der Konvektorleistung mit einem Thermostatventil (Auslegungsproportionalbereich 1 K) bei verschiedenen Leistungsstufen für den Auslegungsfall Heizen

(alle Werte sind Näherungswerte)

Messungen: $t_a = 0^\circ\text{C}$ $t_{VL} = 45^\circ\text{C}$
 $t_a = -5^\circ\text{C}$ $t_{VL} = 50^\circ\text{C}$
 $t_a = -10^\circ\text{C}$ $t_{VL} = 53^\circ\text{C}$

Dabei ist t_a die Ansaugtemperatur und t_{VL} die Vorlauftemperatur am Konvektor.

	Außenlufttemperatur	Lüfterstufe	Konvektorleistung [W]		
	[°C]		V1	V2	V3
Heizfall	-10	1	570	750	520
		2	770	1100	780
		3	900	1380	970
	-5	1	430	670	390
		2	560	980	620
		3	720	1190	760
	0	1	320	540	290
		2	440	750	470
		3	580	880	580

Tabelle 19 Konvektorleistung – Regelstrategie: Thermostatventil (1K)

Die Konvektorleistungen im Heizfall bei gleicher Leistungsstufe und Gerätevariante, gemessen mit Thermostatventil und 2-Punkt-Regelung, weichen aufgrund des unterschiedlichen Regelverhaltens voneinander ab (siehe Tabelle 18 und Tabelle 19). Hinsichtlich des Wärmeverbrauchs zur Gewährleistung der Raumtemperatur sind keine nennenswerten Unterschiede in den Ergebnissen zu erkennen.

Das Ergebnis wird mit der bedarfsgerechten Regelung des Wasservolumenstroms am Konvektor durch das Thermostatventil begründet und der größeren Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur als bei der Strategie 2-Punkt-Regelung. Die unterschiedlichen Vorlauftemperaturen haben auf das Leistungsergebnis keinen Einfluss, da die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur bei den Temperaturen des Heizfalls gleich ist.

Die Konvektorleistungen der Einbauvarianten 1 und 3 sind aufgrund der vorhandenen Wärmerückgewinnung geringer als die Leistungen der Einbauvariante 2.

Beim Vergleich der beiden Messungen zeigt sich, dass die Konvektorleistungen für die Strategie 2-Punkt-Regelung zwischen 25 und 50 % höher ausfallen. Für den Einsatz der dezentralen Lüftungsgeräte unter realen Bedingungen sollte die Raumlufttemperatur daher entweder über eine Einzelraumregelung oder über ein Thermostatventil eingestellt werden.

7.2. Wärmeverbrauch – Einbauvariante 1, 2 und 3

Bei Einbauvariante 1 und 3 wird die Abluft durch einen rekuperativen Wärmerückgewinner geführt. Das bedeutet, dass Wärme- bzw. Kühlenergie aus der Abluft zurückgewonnen wird, um die Außenluft vorzukonditionieren. Bei Einbauvariante 2 hingegen, bei dem keine Wärmerückgewinnung vorhanden ist, bleibt dieses Potenzial ungenutzt.



Abbildung 132 Rauchversuch: Abluftansaugung am Unterflurgerät – Einbauvariante 1 (links)



Abbildung 133 Rauchversuch: Abluftansaugung am Deckengerät – Einbauvariante 2 (rechts)

Im folgenden Diagramm ist der Wärmeverbrauch im Heizfall für die drei Einbauvarianten dargestellt. Bei den „durchgezogenen“ Linien handelt es sich um Messungen bei -10°C Ansaugtemperatur, die gestrichelten Linien zeigen die gemessenen Ergebnisse bei 0°C . Die Regelung der Raumtemperatur erfolgt mit Hilfe eines Thermostatventils. Die Messungen erfolgen jeweils für die Leistungsstufen 1 bis 3, was einem Zuluftvolumenstrom zwischen 80 und $140\text{ m}^3/\text{h}$ entspricht.

Heizfall- Vergleich Variante 1 ,2 und 3 - Wärmeverbrauch
 Regelung Raumtemperatur: Thermostatventil (Heimeier),
 Luftvolumenstrom: 80 / 120 / 140m³/h

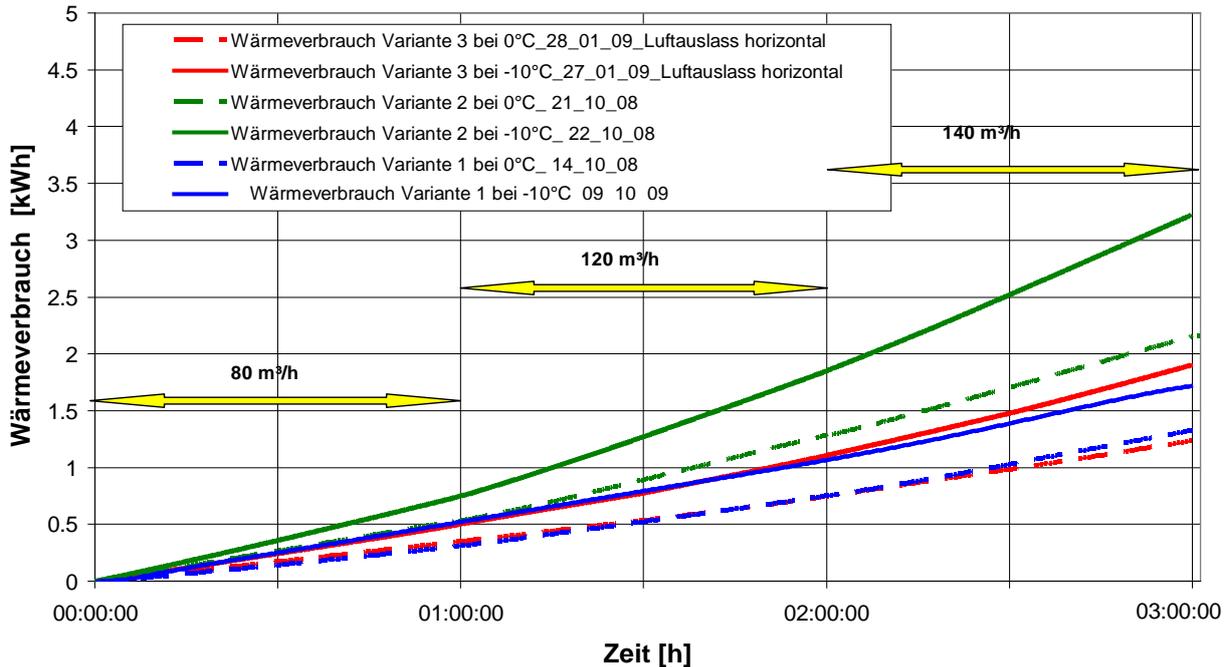


Abbildung 134 Diagramm Wärmeverbrauch

Das Ergebnis dieser Messung zeigt den Einfluss der Wärmerückgewinnung auf den Wärmeenergieverbrauch. Für die Lüftungsgeräte, die mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet sind (Einbauvariante 1 und 3) ergeben sich nahezu vergleichbare Werte. Lediglich bei einem Luftvolumenstrom von 140 m³/h weichen die Verbrauchszahlen aufgrund von Messungenauigkeiten bzw. aufgrund unterschiedlicher Luftströmungen bedingt durch die Einbauart voneinander ab. Bei einem Betrieb der Geräte mit Leistungsstufe 1 (80 m³/h) und einer Ansaugtemperatur von -10°C ergibt sich nach einer Stunde ein Wärmeverbrauch von ca. 0,5 kWh. Im Vergleich zu Einbauvariante 2 (gemessen: ca. 0,8 kWh) wird also eine Einsparung durch die Wärmerückgewinnung von 0,3 kWh je laufende Stunde erzielt.

Der Wärmeverbrauch pro Stunde ist abhängig von der Leistungsstufe des Lüftungsgerätes, siehe Diagramm Wärmeverbrauch. Am Beispiel der Einbauvariante 2 lässt sich die Steigerung des Wärmeenergieverbrauchs erkennen. Bei einer Ansaugtemperatur von -10°C erhöht sich der Wärmeverbrauch um 0,8 kWh/h bei Leistungsstufe 1 um 1,1 kWh/h bei Leistungsstufe 2 und um 1,3 kWh/h bei Leistungsstufe 3.

In Abbildung 135 ist der Kühlenergieverbrauch für den Sommerbetrieb bei den Ansaugtemperaturen von 26°C, 29°C und 32°C unter Berücksichtigung der drei Leistungsstufen dargestellt.

Kühlfall - Vergleich des Verbrauchs an Kühlenergie im Sommerbetrieb
 Außentemperaturen 26, 29, 32°C, Leistungstufe 1-3
 Variante 1, Variante 2 und Variante 3 (Messungen am 23.9., 25.9. und 17.12.2008)

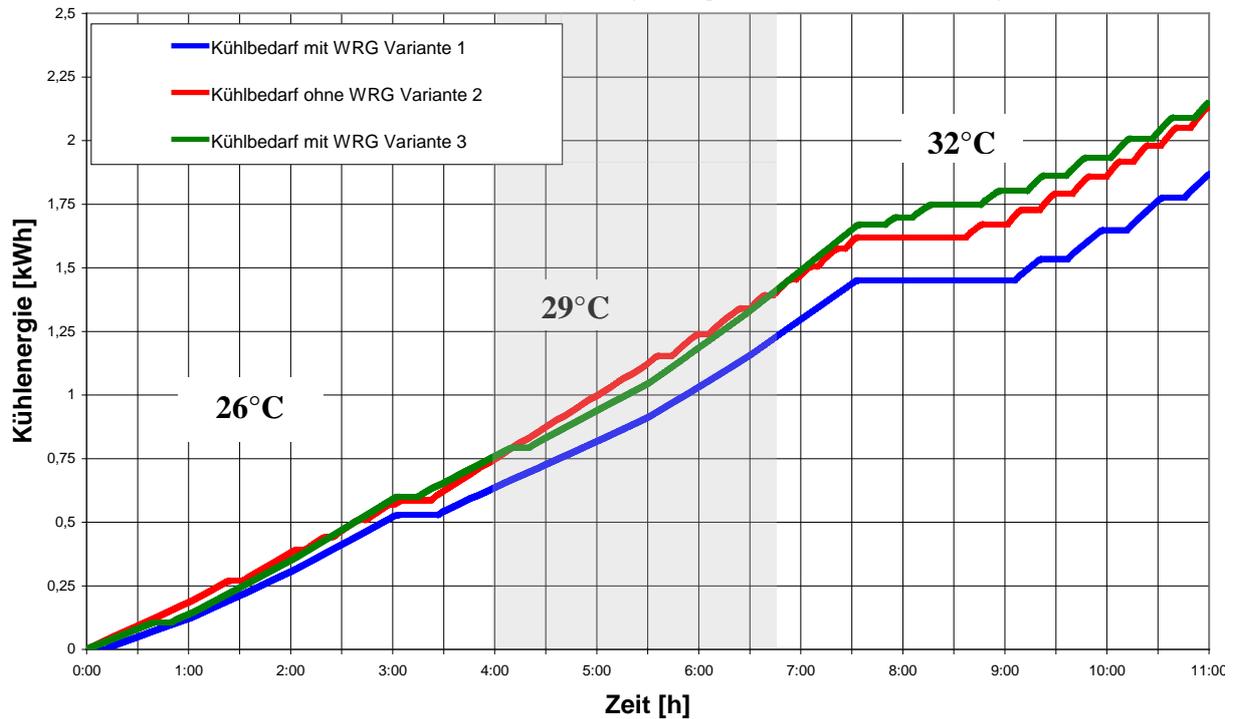


Abbildung 135 Diagramm Kühlenergieverbrauch

Einbauvariante 1 (Unterflurgerät mit Wärmerückgewinnung) weist den geringsten Kühlenergieverbrauch auf. Für Einbauvariante 2 und 3 ergeben sich höhere Kühlenergieverbrauchswerte. Trotz gleichwertiger Wärmerückgewinnung liegt der Verbrauch für das dezentrale Deckengerät im Bereich zwischen Einbauvarianten 1 und 2 bzw. sogar darüber. Die Ursache dafür ist in Abbildung 136 dargestellt.

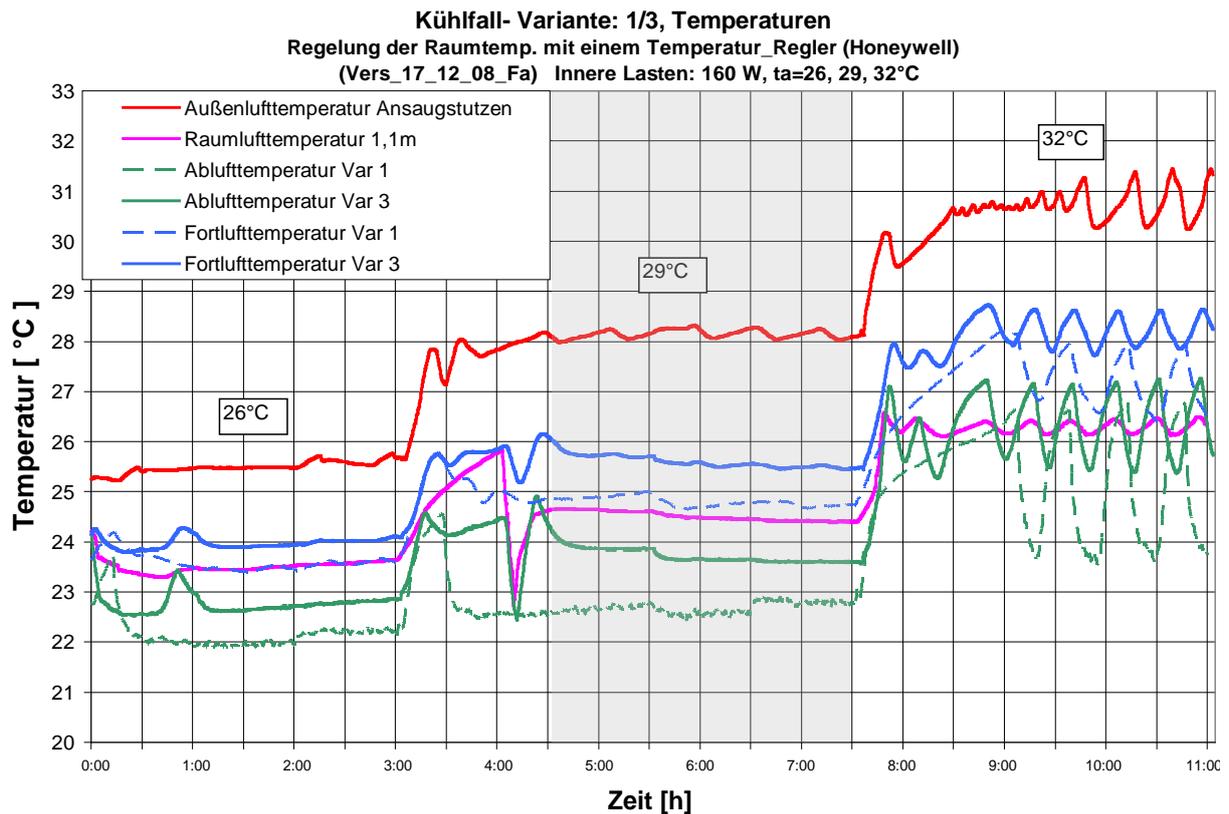


Abbildung 136 Vergleich Einbauvariante 1 und 3

Bei dem Vergleich der Einbauvarianten 1 und 3 ist zu erkennen, dass sowohl die Außenlufttemperatur am Ansaugstutzen, als auch die Raumlufttemperatur identisch sind. Wesentliche Unterschiede ergeben sich für die jeweiligen Ab- bzw. Fortlufttemperaturen. Die Ablufttemperatur des Unterflurgeräts (V1) ist bedingt durch das thermische Verhalten im Raum geringer als bei dem Deckengerät (V3). Diese geringere Ablufttemperatur sorgt in Verbindung mit der Wärmerückgewinnung im Sommerfall für eine geringere, erforderliche Kühlleistung des Konvektors.

7.3. Luftverteilung im Testraum – Einbauvariante 1, 2 und 3

Mit Hilfe von Thermographie-Aufnahmen wird die durch die Lüftungsgeräte verursachte Luftströmung im Raum abgebildet. Zur besseren Darstellung der Thermografie-Aufnahmen wird in der Klimakammer direkt über dem Konvektor ein dunkler Hintergrund, in Form eines Stoffvorhangs, montiert (siehe Abbildung 137).

Die Thermografie-Aufnahmen werden für die dezentralen Lüftungsgeräte für die verschiedenen Außentemperaturen (-10°C, -5°C, 0°C - Heizfall sowie 26°C, 29°C, 32°C - Kühlfall) und bei drei unterschiedlichen Leistungsstufen der Geräte erstellt.

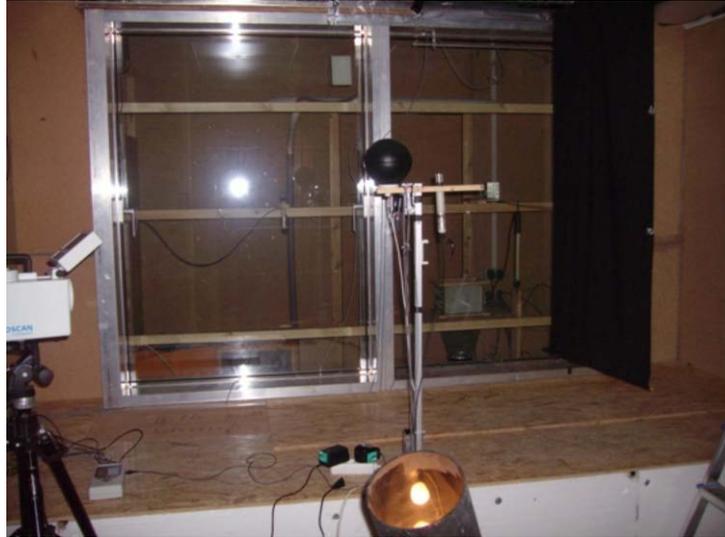


Abbildung 137 Integration einer Projektionsebene (dunkler Vorhang) für die Thermografie-Aufnahmen

Die Thermografieaufnahmen erfolgen bei den oben genannten Außenbedingungen im Heiz- und Kühlfall unabhängig von der detaillierten Aufzeichnung der Messergebnisse im Raum und am Konvektor. Zwischen den Aufnahmen für die Leistungsstufen 1,2 und 3 erfolgt eine halbstündige Pause, damit die Aufnahmen nicht dem Einschwingverhalten des Konvektors unterliegen.

Auf den nachfolgenden Seiten werden zur besseren Vergleichbarkeit ausgesuchte Ergebnisse der Thermografie-Aufnahmen für den Heiz- und Kühlfall für die jeweiligen Leistungsstufen und Einbauvarianten dargestellt. Sie geben Aufschluss über die Luftverteilung im Raum.

Des Weiteren wird mit Hilfe der Aufnahmen eine Aussage hinsichtlich des Kurzschlusses der Luftströme auf der Innenseite der Testfassade, sowie auf der simulierten Außenseite möglich.

Thermografie Aufnahmen Heizfall – Außentemperatur: -10°C

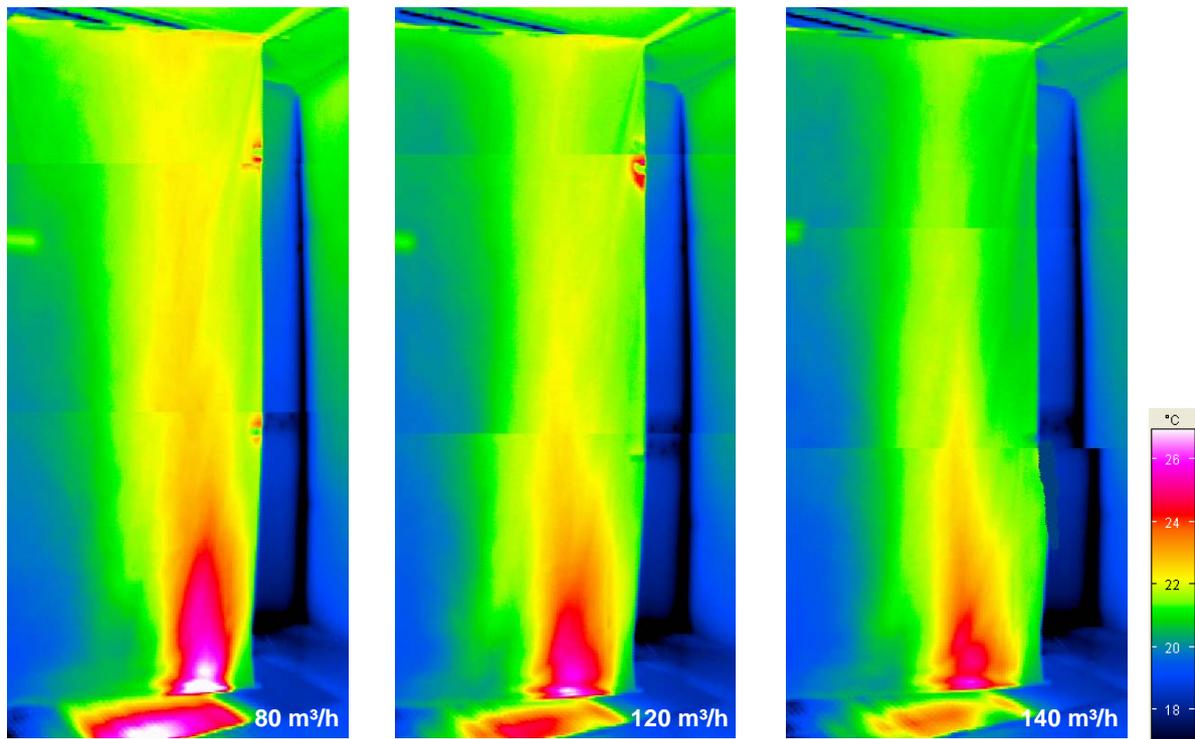


Abbildung 138 Einbauvariante 1, Heizfall, Ansaugtemperatur -10°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

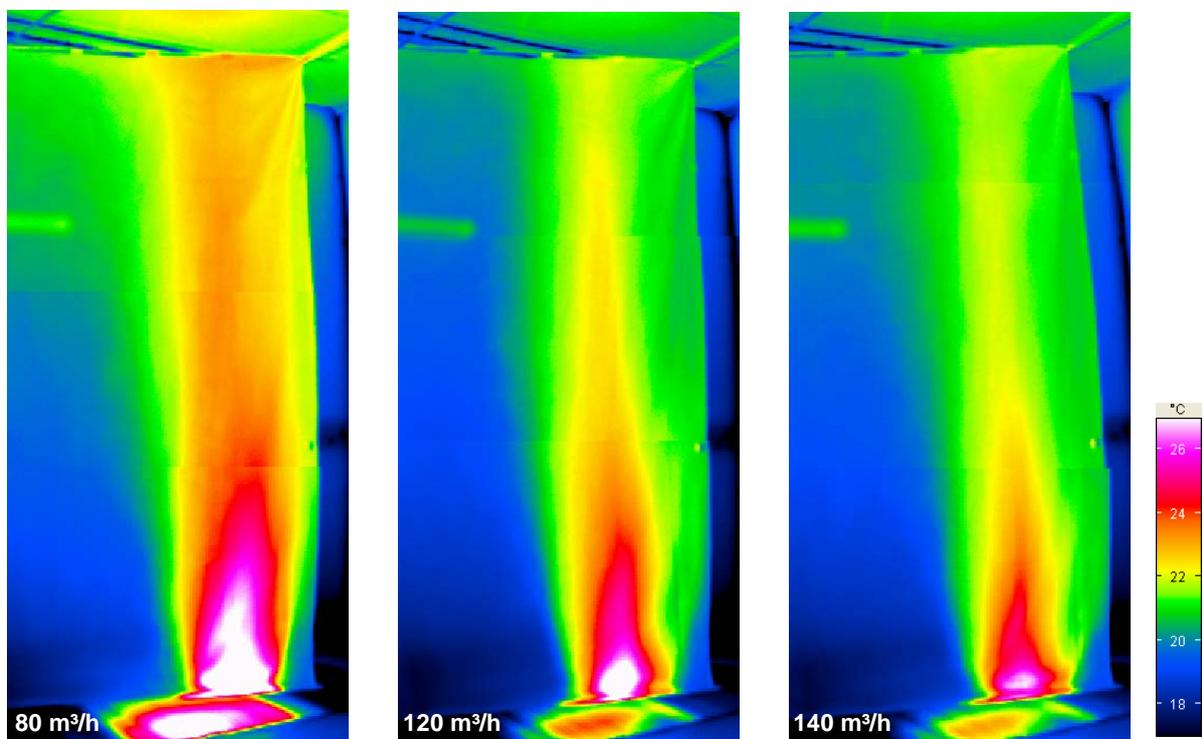


Abbildung 139 Einbauvariante 2, Heizfall, Ansaugtemperatur -10°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

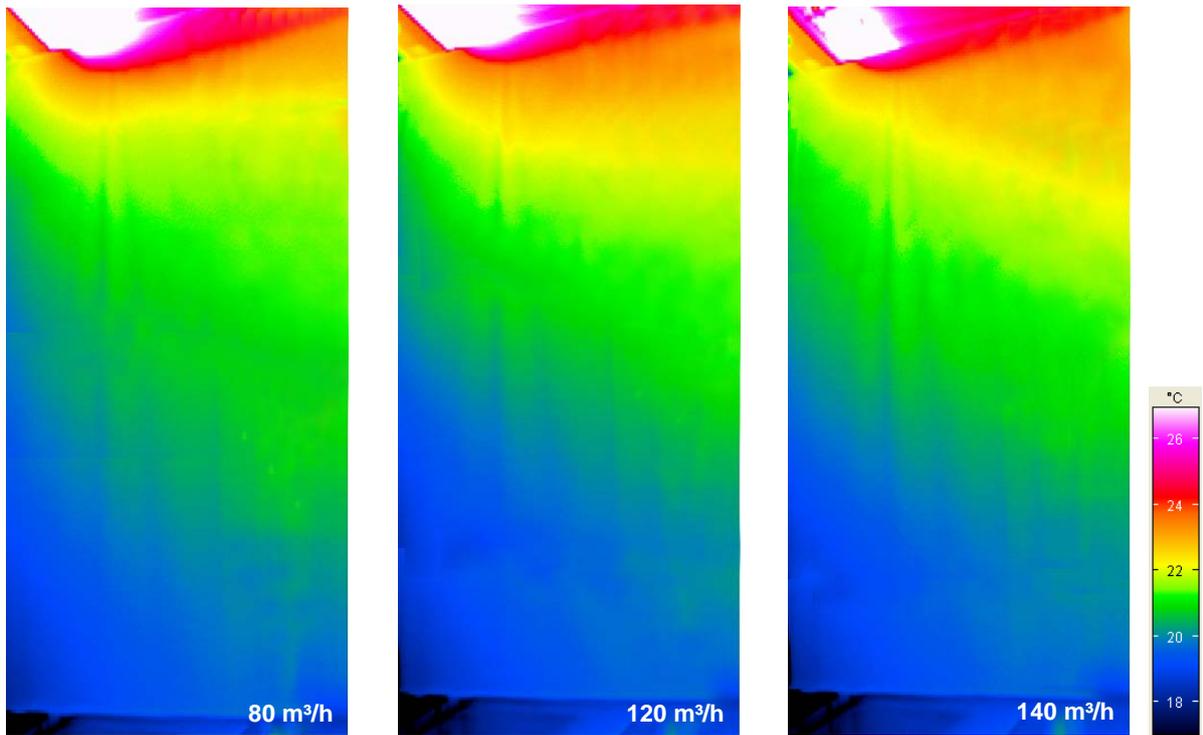


Abbildung 140 Einbauvariante 3, Heizfall, Ansaugtemperatur -10°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

Thermografie Aufnahmen Heizfall – Außentemperatur: 0°C

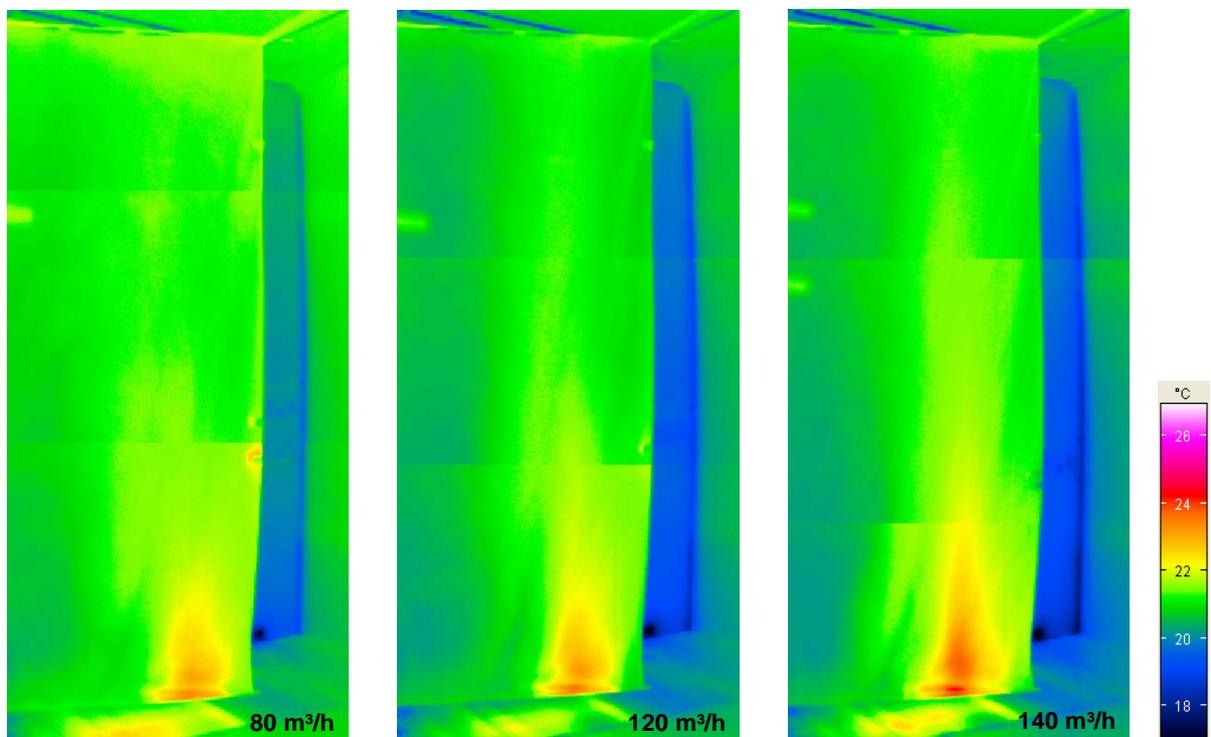


Abbildung 141 Einbauvariante 1, Heizfall, Ansaugtemperatur 0°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

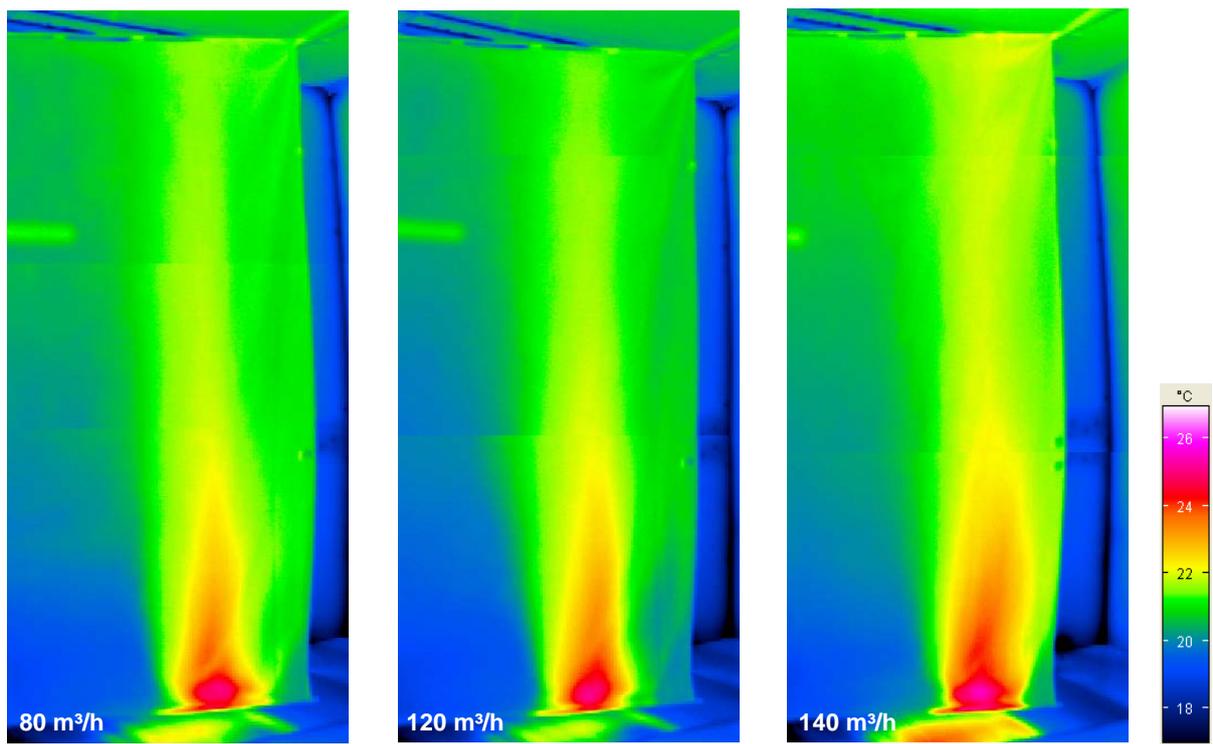


Abbildung 142 Einbauvariante 2, Heizfall, Ansaugtemperatur 0°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

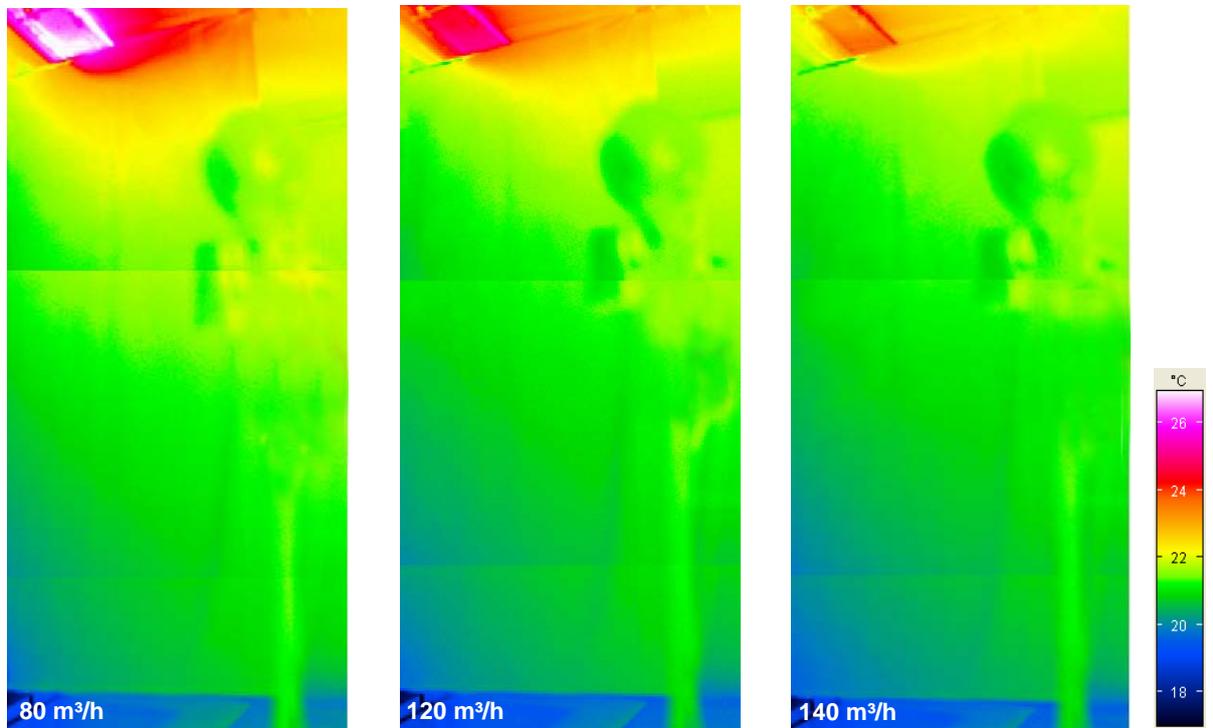


Abbildung 143 Einbauvariante 3, Heizfall, Ansaugtemperatur 0°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

Thermografie Aufnahmen Kühlfall – Außentemperatur: 26°C

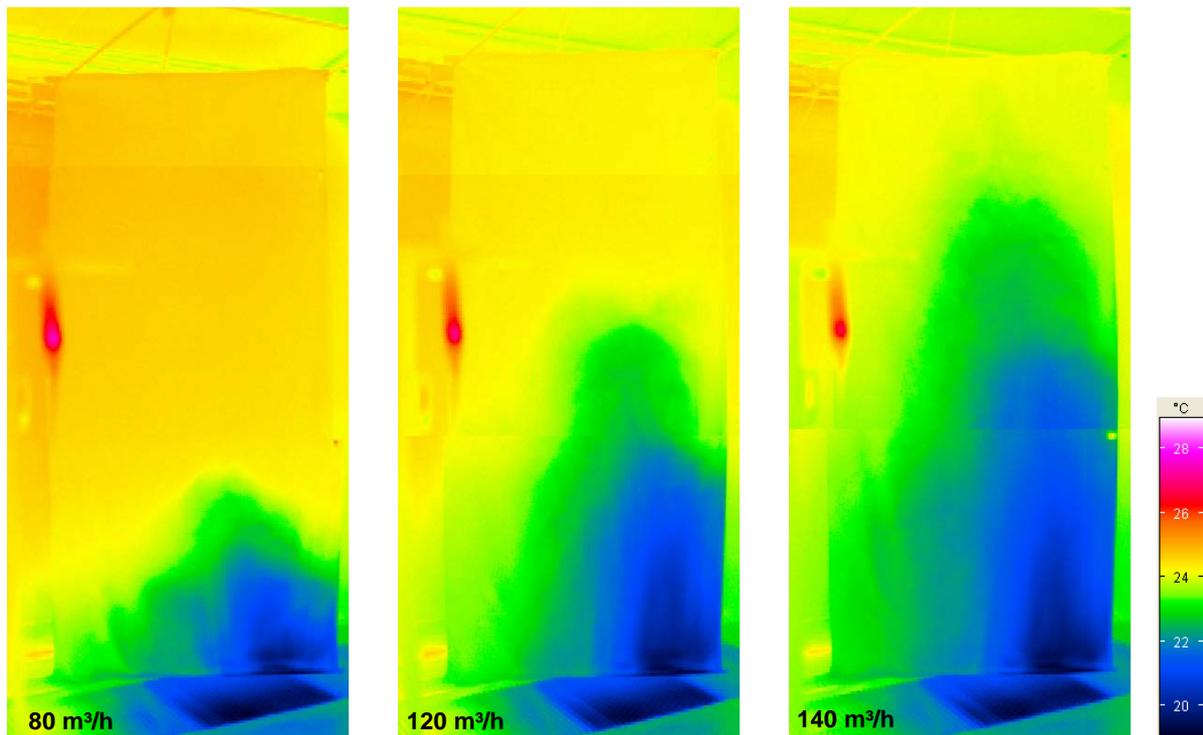


Abbildung 144 Einbauvariante 1, Kühlfall, Ansaugtemperatur 26°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

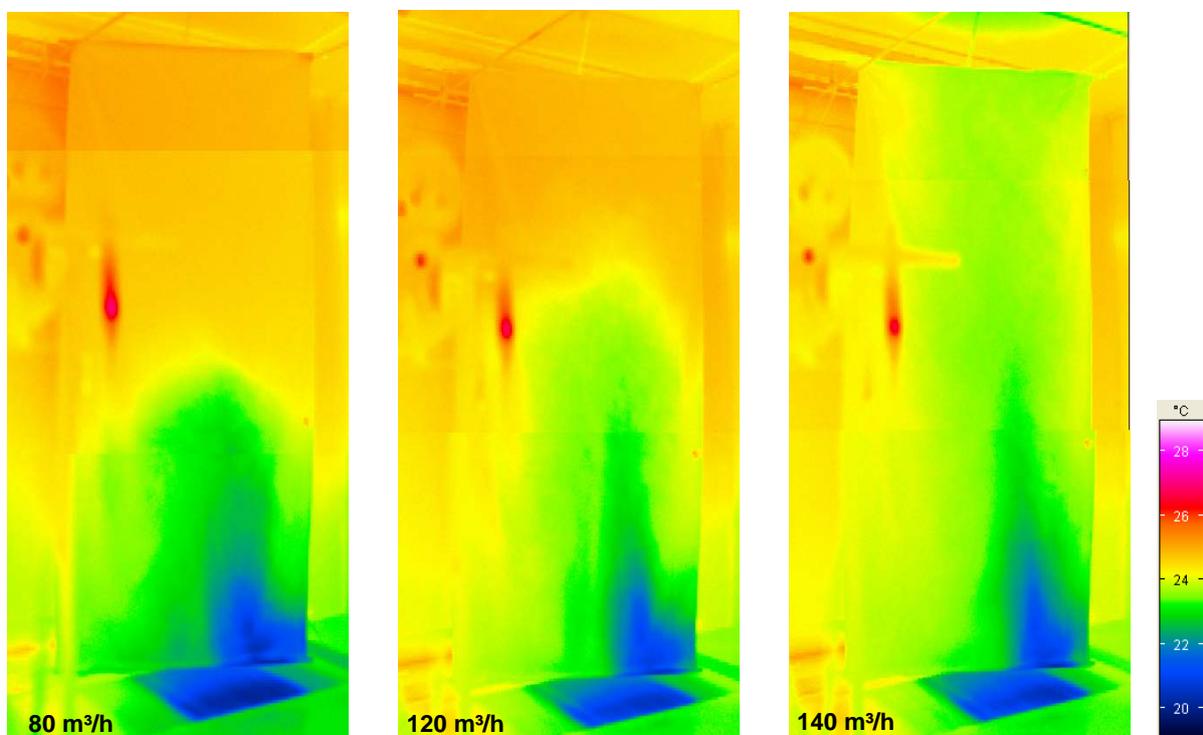


Abbildung 145 Einbauvariante 2, Kühlfall, Ansaugtemperatur 26°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

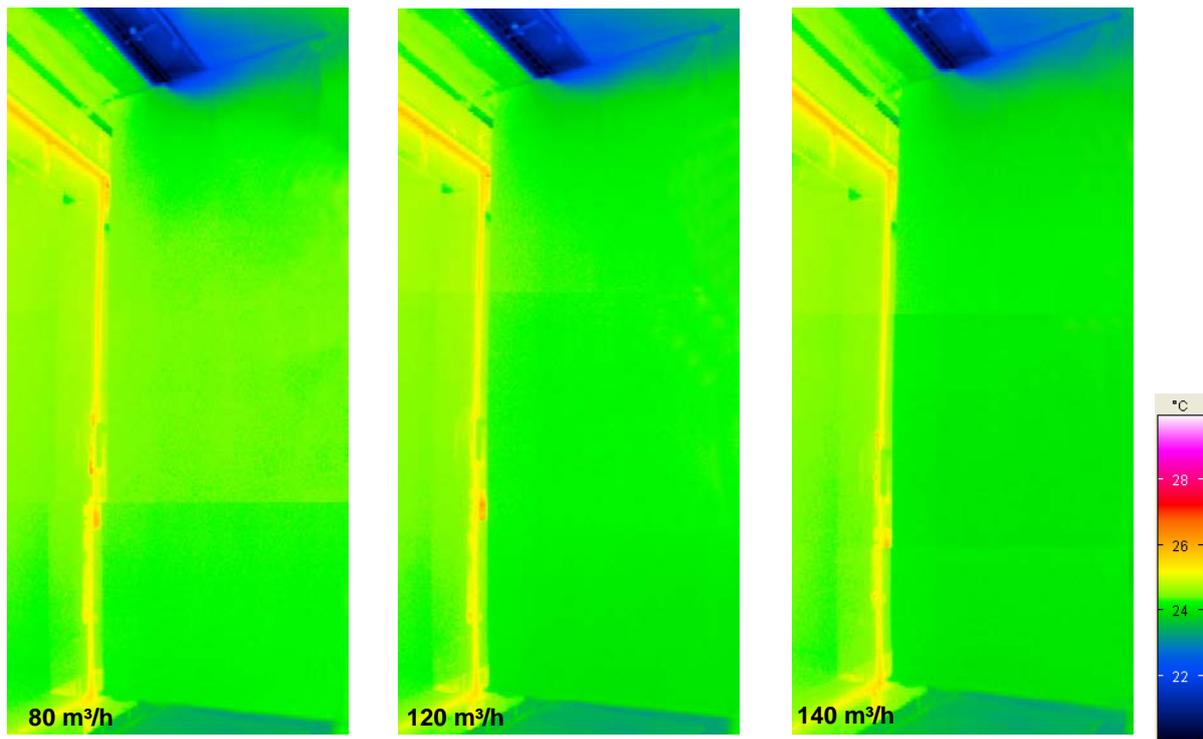


Abbildung 146 Einbauvariante 3, Kühlfall, Ansaugtemperatur 26°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

Thermografie Aufnahmen Kühlfall – Außentemperatur: 32°C

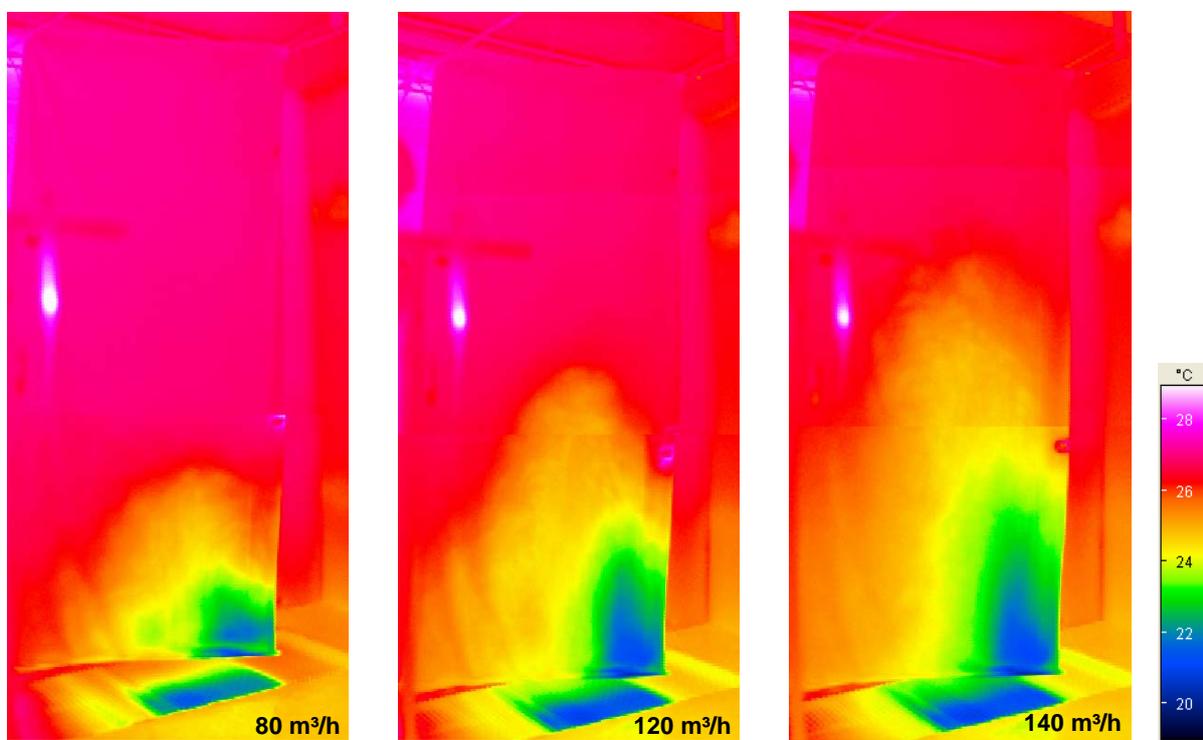


Abbildung 147 Einbauvariante 1, Kühlfall, Ansaugtemperatur 32°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

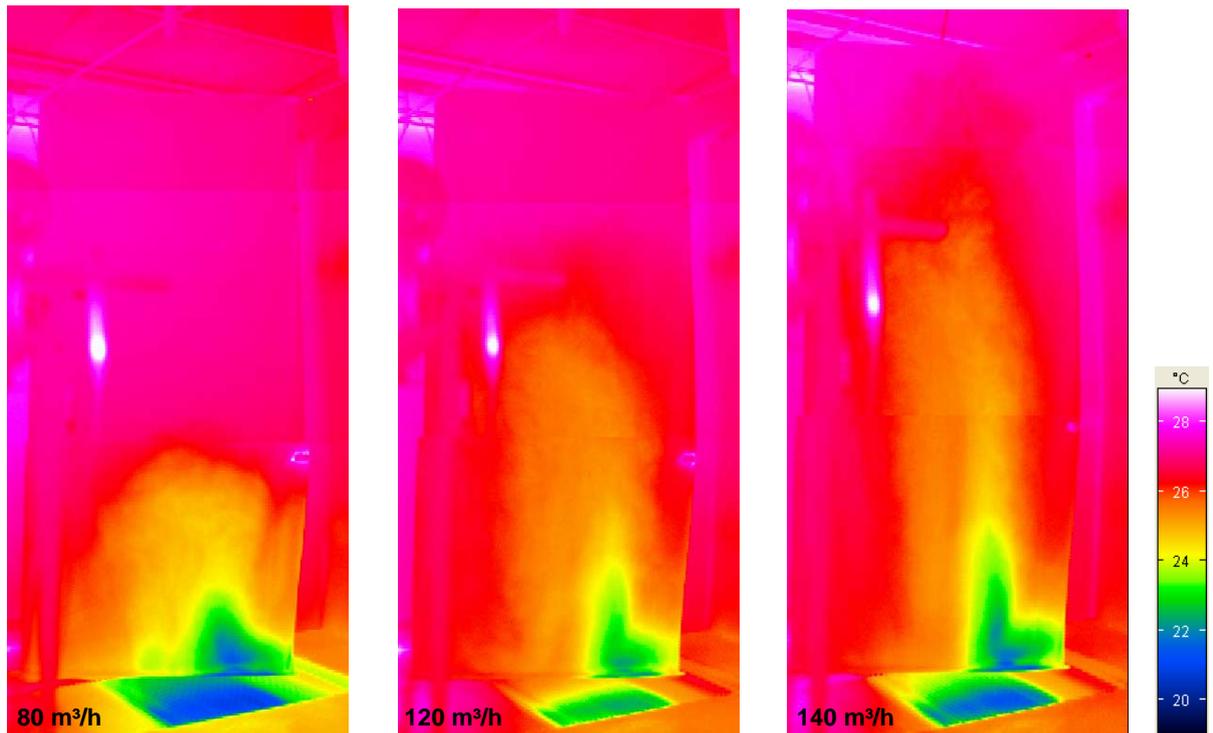


Abbildung 148 Einbauvariante 2, Kühlfall, Ansaugtemperatur 32°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

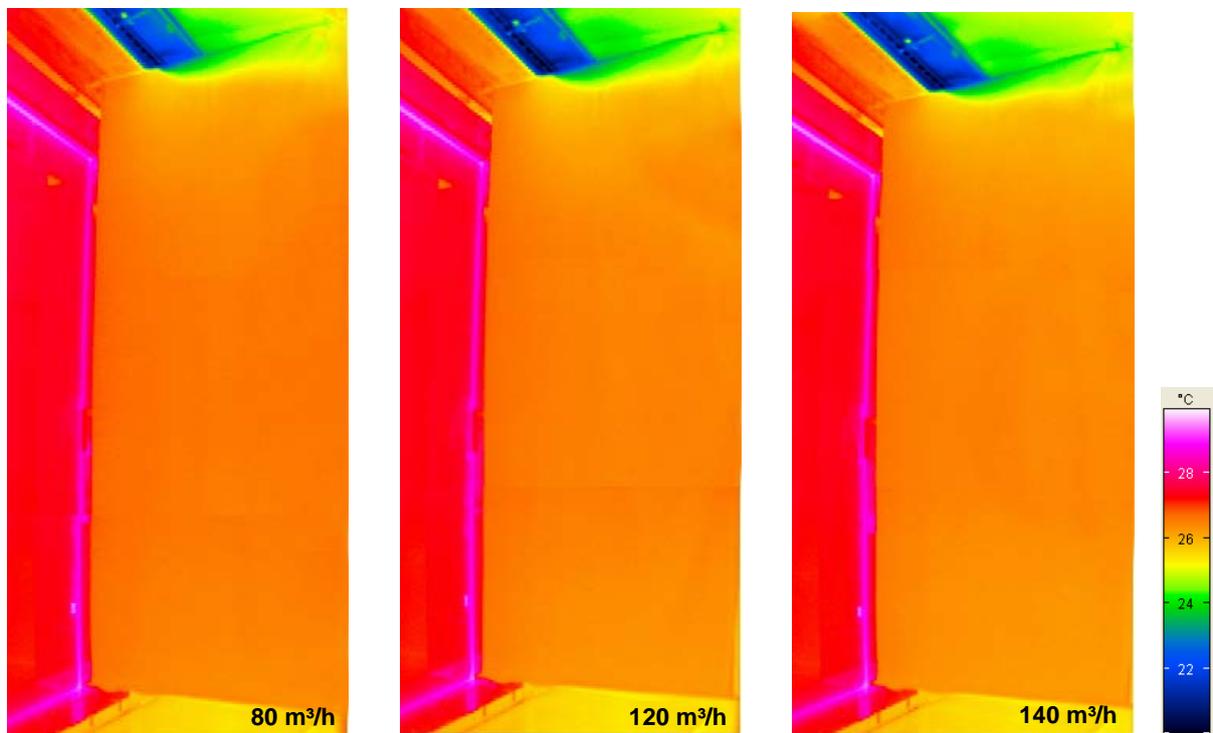


Abbildung 149 Einbauvariante 1, Kühlfall, Ansaugtemperatur 32°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

Aus den abgebildeten Thermografie-Aufnahmen ist die Zuluftführung in den Raum bei den drei Leistungsstufen erkennbar. Die Luftverteilung im Raum unterscheidet sich je nach Einbauvariante, Leistungsstufe und Heiz- bzw. Kühlfall in ihrer Ausformung.

Die Höhe der Leistungsstufe im Heizfall hat Einfluss auf die Erwärmung der Zuluft für den zu konditionierenden Raum. Ist die Leistungsstufe des Lüftungsgeräts gering, strömt die Luft langsam durch den Konvektor – die Folge ist eine höhere Zulufttemperatur (siehe Abbildung 138 bzw. Abbildung 143). Um möglichst schnell und individuell auf interne Lasten reagieren zu können, besteht bei der dezentralen Technik die Möglichkeit die Leistungsstufe bzw. den Volumenstrom zu verändern und somit die Luftwechselrate und die Heizleistung an den Raumbedarf anzupassen.

Im Kühlfall ist derselbe Effekt zu erkennen. Je geringer die Leistungsstufe des Ventilators, desto langsamer durchströmt die Luft den Konvektor. Die langsame Durchströmung sorgt für eine stärkere Abkühlung der Zuluft (vgl. Abbildung 145).

Bei Einbauvariante 1 und 2 wird die Zuluft bei einer geringen Leistungsstufe im Kühlfall senkrecht nach oben induziert, erreicht in der Klimakammer eine Raumhöhe von ca. 1,00 m, strömt in Richtung Innenraum und fällt dabei wieder nach unten. Es entsteht eine gleichmäßige Luftverteilung im Bodenbereich („Kaltluftsee“). Mit dem Einstellen einer höheren Leistungsstufe am Lüftungsgerät ist der Impuls für die gekühlte Zuluft größer (siehe Abbildung 144 und Abbildung 147).

Bei Einbauvariante 3 wird durch die Lamellenstellung am Lüftungsgerät eine Ausblasrichtung der Zuluft in den Raum vorgegeben. Es bildet sich eine Luftwalze aus – Coanda-Effekt. Dieser Effekt bewirkt, dass durch Induktion die Zuluft erwärmt und die Geschwindigkeit abgebaut wird. Danach sinkt die Luft im Raum nach unten und strömt an der Fassade bedingt durch die Absaugung der Luft wieder nach oben (vgl. Kapitel 6).

Bei den Einbauvarianten 1 und 3, den Lüftungsgeräten mit der Wärmerückgewinnung, befinden sich die Zu- und die Abluftöffnungen direkt nebeneinander, so dass mit Hilfe der Thermografie-Aufnahmen geprüft wird, ob es zu einem Kurzschluss der Luftströme kommt. Sowohl aus den Rauchversuchen, als auch aus den Thermografie-Aufnahmen ist deutlich zu erkennen, dass durch die Lamellenstellung an der Zuluftöffnung bei Einbauvariante 3 ein Kurzschluss der Luftströme vermieden wird. Bei Einbauvariante 1 hingegen kommt es bei geringer Zuluftmenge zu einem Kurzschluss im Raum (siehe Abbildung 150).

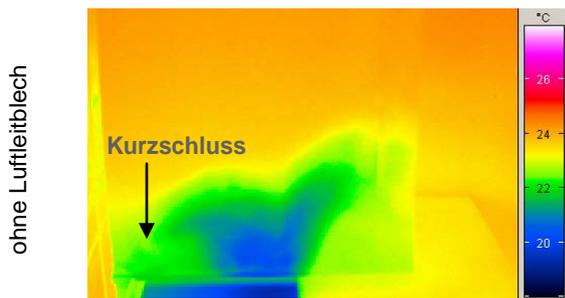


Abbildung 150 Kurzschluss Einbauvariante 1

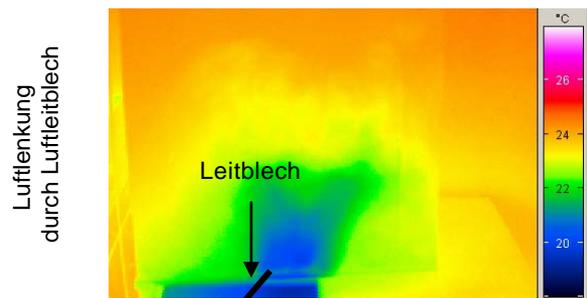
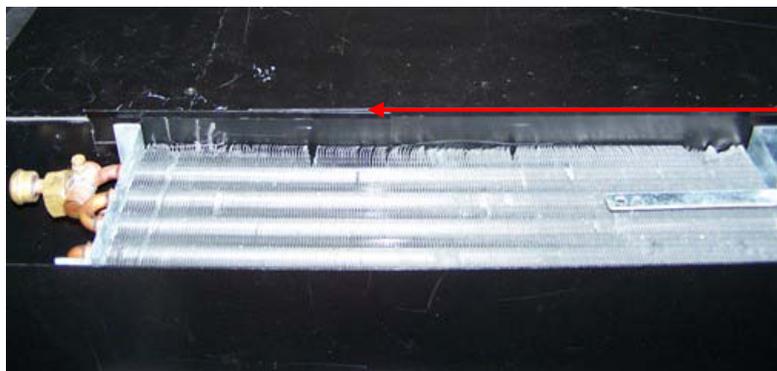


Abbildung 151 Verhindern eines Kurzschlusses

Durch die Anordnung eines Luftleitbleches oberhalb des Konvektors im Lüftungsgerät besteht die Möglichkeit den Kurzschluss zu minimieren. Aus der Thermographieaufnahme in Abbildung 151 ist die Wirkung hinsichtlich des Kurzschlusses deutlich erkennbar.



Luftleitblech
ca. 2cm hoch,
Neigung zum Konvektor ca. 45°

Abbildung 152 Konvektor mit Luftleitblech

Alle Messungen der Einbauvariante 1 (Zu- und Abluftgerät mit WRG) wurden unter Verwendung des eingebauten Luftleitbleches durchgeführt, um eine verbesserte Luftverteilung im Raum zu gewährleisten und den Kurzschluss der Luftströme zu verhindern!

Auf der Rauminnenseite lässt sich der Kurzschluss von Zu- und Abluft durch die Verwendung eines Leitbleches verhindern. Für die Außenseite der Lüftungsgeräte wird durch die folgenden Messungen geprüft, ob im Bereich von Außenluftansaugung bzw. Fortluftführung Vorkehrungen getroffen werden müssen, um einen möglichen Kurzschluss der Luftströme zu minimieren.

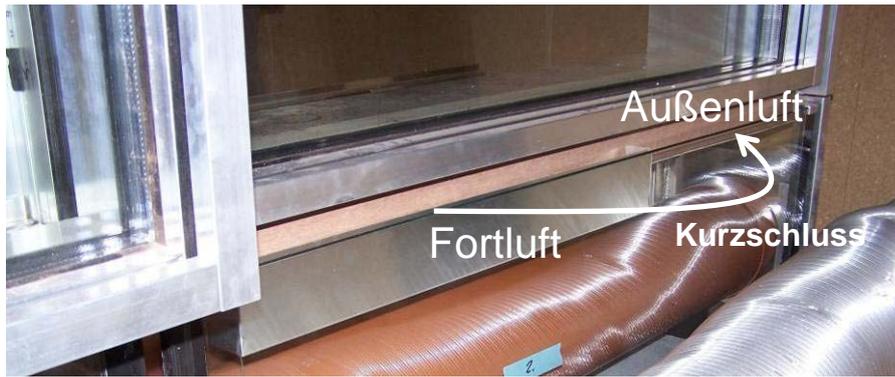


Abbildung 153 Kurzschluss auf der simulierten Außenseite der Klimakammer

Abbildung 154 (Heizfall) und Abbildung 155 (Kühlfall) zeigen die Temperaturen im Bereich der Ansaugung und der Fortluftführung. Zwischen Außenlufttemperatur und Außenlufttemperatur am Ansaugstutzen ergibt sich im Heiz- und Kühlfall eine Temperaturdifferenz von 2 bis max. 4 Kelvin. Die Temperaturdifferenz (Δt) bleibt über den jeweiligen Messzeitraum konstant und lässt die Vermutung zu, dass der Luftkurzschluss Ursache für die Temperaturerhöhung ist. Die durchgeführten Messungen erfolgen unter Laborbedingungen. Der Einfluss von Wind oder solarer Einstrahlung auf die Fassade kann somit nicht abgebildet werden und sollte unter realen Einsatzbedingungen überprüft werden. Im Laufe der weiteren Bearbeitung wurde die Fassadenkonstruktion durch das Einbringen verschiedener Luftkanäle verbessert, so dass ein Kurzschluss auf der Außenseite minimiert wird. Diese verbesserte Konstruktion stand für die Messungen in der Klimakammer noch nicht zur Verfügung.

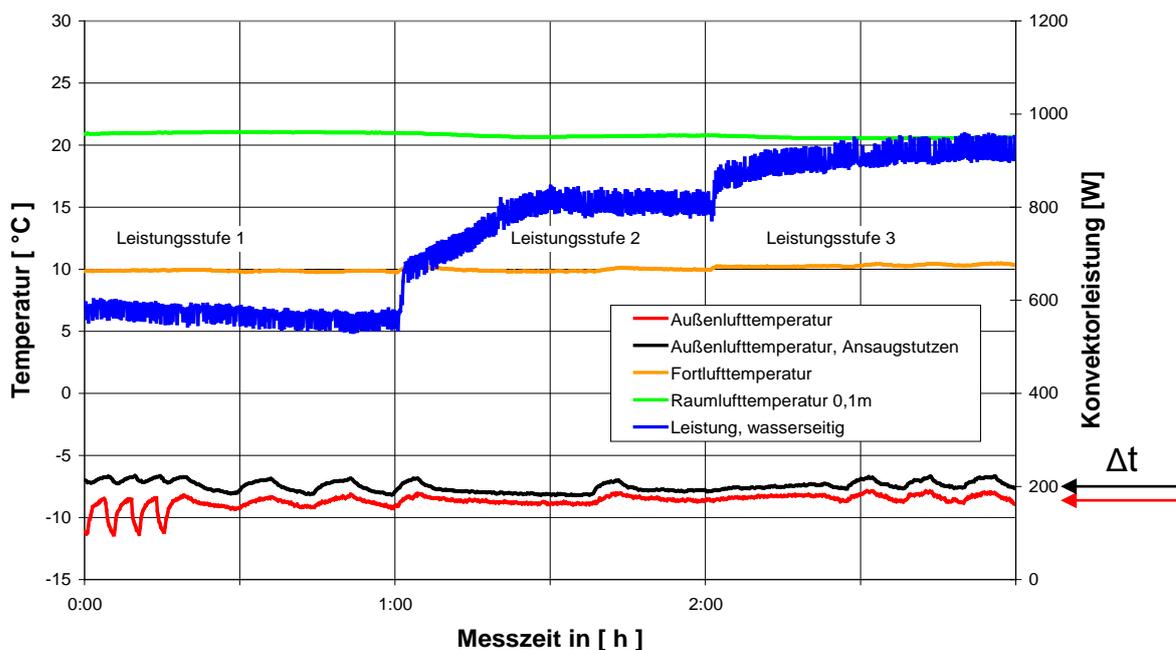


Abbildung 154 Kurzschluss, Heizfall, Variante 1

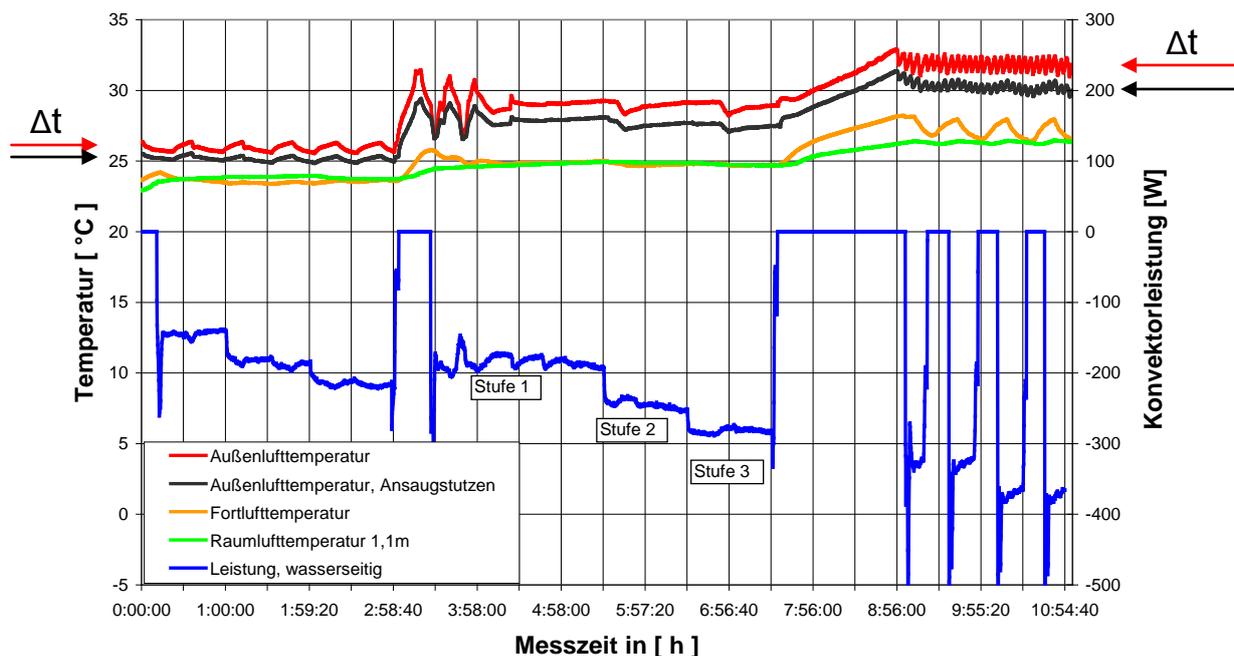


Abbildung 155 Kurzschluss, Kühlfall, Variante 1

Prinzipiell kommt ein möglicher Kurzschluss aus thermischer Sicht der Beheizung bzw. Kühlung des Raumes entgegen, da am Ansaugstutzen die Temperatur bereits etwas wärmer bzw. kühler als die Außenlufttemperatur ist. Aus hygienischer Sicht ist ein Kurzschluss von Fort- und Außenluft zu vermeiden.

Durch die Weiterentwicklung der Fassade und der Lüftungsgeräte im Laufe des Projekts und durch den Einsatz getrennter Lüftungskanäle für Zu- und Abluft im opaken Deckenbereich wird ein Kurzschluss auf der Kaltseite nahezu vermieden. In diesem Forschungsprojekt sind diese weiterentwickelten Lüftungskanäle aus baukonstruktiven und simulationstechnischen Gründen in der Klimakammer nicht zum Einsatz gekommen!

Um abschließend einen objektiven Vergleich der drei Lüftungskonzepte geben zu können, sind in der folgenden Tabelle Vor- und Nachteile der untersuchten Einbauvarianten aufgeführt:

Lüftungsvariante 1: Unterflurlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (Schüco IFV 120 GH)	
<u>Vorteile</u>	<u>Nachteile</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz bei großen Leistungen möglich, Energieeinsparung durch WRG - einfache Wartung mit Filterwechsel und Reinigung - Warmluftschleier vor der Fassade im Heizfall durch senkrecht aufsteigende Warmluft - gute Luftverteilung im Kühlfall: gleichmäßige Verteilung im Raum - gute / mäßige Luftverteilung im Heizfall 	<ul style="list-style-type: none"> - Luftverteilung dominiert in der Konvektorachse - höhere Gerätekosten durch WRG - Lüftungsgeräte am Boden dürfen nicht zugestellt werden - Zugscheinungen bei kurzzeitiger Boost-Stufe möglich

Lüftungsvariante 2: Unterflurlüftungsgerät und Unterdeckenlüftungsgerät (Schüco IFV 120 GI und Schüco IFV 120 CE)	
<u>Vorteile</u>	<u>Nachteile</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz bei geringen Leistungen, höhere Gerätekosten für Gerät mit WRG rechnet sich nicht mit der Leistungseinsparung - Lüftungsgeräte sind leiser als vergleichbare Geräte mit WRG (geringere Druckverluste) - sehr gute Luftverteilung im Kühlfall: gleichmäßige Verteilung im Raum - gute / mäßige Luftverteilung im Heizfall - einfacher Filterwechsel und Reinigung (nur beim Zuluftgerät) - Warmluftschleier vor der Fassade im Heizfall durch senkrecht aufsteigende Warmluft 	<ul style="list-style-type: none"> - Gerät ohne WRG - wenig energieeffizient durch fehlende WRG - höherer Platzbedarf (Boden und Decke) - Lüftungsgeräte am Boden dürfen nicht zugestellt werden - Zugscheinungen bei hoher Leistungsstufe möglich - höherer Wartungsaufwand – Zu- und Abluftgeräte voneinander getrennt

Lüftungsvariante 3: Unterdeckenlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Bypass (Schüco IFV 120 CB)	
<u>Vorteile</u>	<u>Nachteile</u>
<ul style="list-style-type: none"> - gute Luftverteilung im Kühlfall: gleichmäßig Verteilung im Raum - Einsatz bei großen Leistungen möglich, Energieeinsparung durch WRG - zusätzlicher, nutzbarer Flächengewinn in Fußbodennähe - bei waagrechtem Luftauslass: keine Zugerscheinungen am Arbeitsplatz - bequeme Regulierung des Lamellenauslasses am Lüftungsgerät 	<ul style="list-style-type: none"> - Luftverteilung dominiert in der Konvektorachse - aufwändigere Wartung (Aufstellen einer Leiter – „Überkopfarbeiten“) - mäßige Luftverteilung im Heizfall: bei waagrechter Luftausblasung in den Raum geringe Luftbewegung im Arbeitsplatzbereich

Tabelle 20 **Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Lüftungskonzepte**

Kapitel 8

Zukunftsmöglichkeit dezentraler Gebäudetechnik

8. ZUKUNFTSMÖGLICHKEIT DEZENTRALER GEBÄUDETECHNIK

8.1. Wirtschaftlichkeit

Bei der Integration raumsparender, dezentraler Gebäudetechnik in die Gebäudehülle sind Untersuchungen hinsichtlich der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts am Arbeitsplatz ebenso wichtig, wie die Prüfung der Wirtschaftlichkeit dieser Technik.

Aus diesem Grund wird ab Kapitel 8.1.2. die dezentrale Lüftungstechnik mit einer zentralen Lüftungsvariante wirtschaftlich verglichen. Dazu werden Auswertungen aus bereits durchgeführten Untersuchungen an realen Projekten herangezogen, die durch die Hersteller von Lüftungsanlagen zur Verfügung gestellt bzw. durch die Ergebnisse eigener Forschungsprojekte (DeAL) ermittelt wurden.

8.1.1. Stromkosten bei dezentralen Geräten

Anhand der in der Klimakammer untersuchten Lüftungsgeräte wird der jährliche elektrische Energiebedarf bei Leistungsstufe 1 ermittelt. Neben der Anzahl der Geräte hat der Verschmutzungsgrad der Filter Einfluss auf den Energiebedarf. Der jährliche Strombedarf der Geräte wird durch die Multiplikation der elektrischen Aufnahmeleistung mit der jährlichen Laufzeit und der Anzahl der Geräte für ein Gebäude ermittelt.

Beispiel:

Ein Gebäude für 240 Personen wird über 120 dezentrale Lüftungsgeräte mit konditionierter Außenluft versorgt (40 m³/h und Pers. - DIN EN 13779-2007, IDA 2). Die Lüftungsgeräte werden bei Leistungsstufe 1 betrieben und stellen somit ein Luftvolumenstrom von 80 m³/h im Raum zur Verfügung (Gesamtvolumenstrom 9.600 m³/h). Der ermittelte Energieverbrauch bei sauberem Filter beträgt unter den angegebenen Bedingungen in der Summe ca. 11 W für beide Ventilatoren. Unter der Annahme einer präsenzabhängigen Laufzeit der Geräte von 1.500 h/a und kalkulierten Energiekosten in Höhe von 0,20 €/kWh entstehen für den Betreiber folgende Stromkosten pro Jahr:

$$11 \text{ W} * 1.500 \text{ h/a} * 120 \text{ Lüftungsgeräte} * 0,20 \text{ €/kWh} = \mathbf{396 \text{ €a}}$$

Mit zunehmender Verschmutzung des Filters erhöht sich der Widerstand des Filters und der Luftstrom erfährt einen höheren Druckverlust, der vom Ventilator durch erhöhte Drehzahl kompensiert werden muss. Der Leistungsbedarf des Ventilators ändert sich mit der dritten Potenz der Drehzahl. Um die Ventilatorstromkosten gering zu halten, sollte der Filterwechsel

zweimal pro Jahr erfolgen (Angabe eines Herstellers dez. Lüftungstechnik). Die genaue Höhe der zusätzlichen Energiekosten durch den verschmutzten Filter wurde in „Interface“ nicht bestimmt. Es wird jedoch je nach Verschmutzungsgrad des Filters von einer ca. 25%igen Erhöhung des Energiebedarfs ausgegangen (vgl. DeAL). Das bedeutet, dass sich die Strommehrkosten um ca. 99 €/a auf 495 €/a erhöhen.

Verglichen mit den Wartungs- und Reinigungskosten für die dezentralen Geräte ist das eine vernachlässigbare Größe.

Die Beladungszeit des Filters richtet sich nach der Luftqualität der Außenluft, welche unter Laborbedingungen im Projekt „Interface“ nicht bestimmt wurde.

Eine erhöhte Ventilator Drehzahl durch Filterverschmutzung wirkt sich auf die Raumakustik aus und kann damit eine Einbuße des Komforts am Arbeitsplatz bedeuten.

Im Vergleich zu dezentralen Lüftungsgeräten kann bei einer zentralen Anlage (Fördervolumenstrom 9.600 m³/h) von einer Gesamtaufnahmeleistung der Zu- und Abluftventilatoren von ca. 7,4 kW ausgegangen werden. Unter der Annahme einer präsenzabhängigen Laufzeit der Geräte von 1.500 h/a und kalkulierten Energiekosten in Höhe von 0,20 €/kWh entstehen für den Betreiber folgende Stromkosten pro Jahr:

$$7.400 \text{ W} * 1.500 \text{ h/a} * 0,20 \text{ €/kWh} = \mathbf{2.220 \text{ €/a}}$$

Aus dieser Vergleichsrechnung wird die Einsparung der Stromkosten bei dezentraler Technik deutlich. Die Stromkosten im Jahr für die Zu- und Abluftventilatoren bei der dezentralen Technik lassen sich im Vergleich Zentralanlagen um ca. 80 % reduzieren.

8.1.2. Wartungskosten / Filterwechsel

Die Wartung der dezentralen Geräte erfolgt in den nachfolgend beschriebenen Schritten:

Bei den Unterflurgeräten wird zunächst das auf dem Gerät liegende Rollrost entfernt. Das Filterfach des dezentralen Gerätes ist mit einem Blech abgedeckt, das am Gehäuse mit 2 Schrauben befestigt ist. Beide Schrauben müssen um 90° gedreht werden (Vierteldrehverschluss!). Danach lässt sich der Deckel nach vorne entfernen. Schließlich kann die Reinigung des Gerätes (Absaugen des Wärmetauschers) und der Filterwechsel erfolgen. Für die Wartung inkl. der Vorbereitung müssen ca. 5-10 Min./Gerät eingeplant werden. Die Wartung von dezentralen Geräten dauert aufgrund der höheren Anzahl der Lüftungsgeräte und dem damit verbundenen höheren Wartungsaufwand länger als bei einer zentralen Lüftungsanlage.

Die Wartung des Lüftungsgeräts bei Einbauvariante 3 gestaltet sich etwas intensiver als bei den Varianten 1 und 2, da die Geräteabdeckung anders konstruiert ist. Neben dem benötigten Platz für die Aufstellung der Leiter, muss bei dieser Variante „Über-Kopf“ gearbeitet werden.

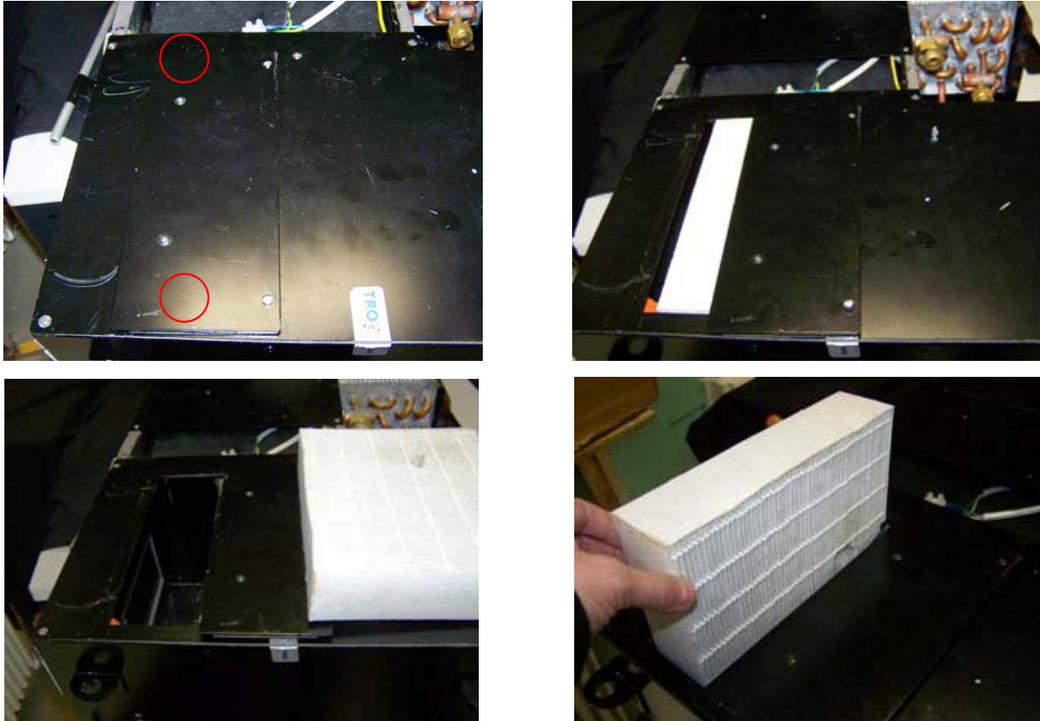


Abbildung 156 Filterwechsel

In der ILK Dresden – Studie [12] sind für den Filterwechsel veranschlagte Kosten für das Material in Höhe von 7 €/Gerät berücksichtigt. Für die Wartung und Reinigung des Geräts und des Filters wird eine Arbeitsleistung von insgesamt ca. 10-15 Min./Gerät mit einem Stundensatz von 35 €/h angesetzt. Für 120 dezentrale Lüftungsgeräte betragen die einmaligen, laufenden Wartungs- und Reinigungskosten somit also ca. 1.500 € pro Jahr.

Mieter stellen diese Kosten den Strommehrkosten gegenüber und entscheiden somit über die Häufigkeit des Filterwechsels und der Wartung. Ein weiteres Ansteigen der Wartungs- und Reinigungskosten kann jedoch verhindert werden, indem zu den jährlichen Wartungsterminen alle Wartungsmaßnahmen wie Filterwechsel und Staubsaugen der Wärmeübertrager und Wärmerückgewinner in einem Arbeitsvorgang durchgeführt werden.

In der folgenden Tabelle 21 ist der Wartungsaufwand zentraler und dezentraler Luftaufbereitung gegenübergestellt. Als dezentrales System wurden Fassadenlüftungsgeräte, als zentrale Anlage ein Luft-Wasser-System gewählt. Die Angaben sind der ILK Dresden – Studie entnommen.

	Zentrale Luftaufbereitung 1 Zentralgerät mit 9600 m³/h	Dezentrale Luftaufbereitung 96 Fassadenlüftungsgeräte mit je 100 m³/h
Geräte reinigen	1 Gerät à 120 Min. 2 mal im Jahr 4 h à 35 € 140 €	2 mal im Jahr komplett 96 Geräte à 10 Min. + 2 mal im Jahr Stichproben 36 h à 35 € 1.260 €
Filter Wechsel Material + Arbeitsleistung	1 Gerät à 520 € (Material) 4 mal im Jahr* 1 Gerät à 30 Min. (Arbeitsleistung) 4 x 0,5 h à 35 € 2.150 €	96 Geräte à 7 € (Material) 4 mal im Jahr* 96 Geräte à 2 Min. (Arbeitsleistung) 4 x 3,2 h à 35 € 3.136 €
Revision der Brandschutzklappen	18 Stück à 6 Min. 1,8 h à 35 € 1 mal im Jahr 63 €	0 Stück à 6 Min. 1 mal im Jahr 0 €
Luftkanalsystem und Luftauslässe reinigen	Verteilsystem durch Luftkanalreinigungsservice reinigen. 350 m² Kanal à 10 €/m² 48 Luftauslässe (5 Min.) und 24 Umluftgeräte (10 Min.) reinigen 8 h à 40 €/h alle 2 Jahre 1.910 €	Ist mit in den Kosten für die Gerätereinigung enthalten
jährliche Wartungskosten	4.263 €	4.396 €

* bei verschmutzter Außenluft (Basis: hygienische Anforderungen der VDI 6022)

**Tabelle 21 Gegenüberstellung des Wartungsaufwands zentraler und dezentraler Luftaufbereitung
Quelle: ILK Dresden**

Aus der Studie ist zu erkennen, dass die jährlichen Wartungskosten dezentraler Lüftungsgeräte etwa den Kosten der zentralen Lüftungsanlagen (unter Berücksichtigung einer vergleichbaren Luftmenge) entsprechen. Einsparpotenzial besteht zum Beispiel durch eine stichpunktartige Überprüfung der Filter (Empfehlung der VDI 6022).

Berücksichtigt man die Auswertungen zum Stromverbrauch aus DeAL, so ist festzustellen, dass bei dezentralen Lüftungsgeräten im Durchschnitt eine niedrigere Leistungsaufnahme bezogen auf den Kubikmeter Luft benötigt wird, als bei zentralen Lüftungsanlagen. Die ineffizienteren, kleinen dezentralen Ventilatoren und der damit verbundene kleinere Wirkungsgrad, werden durch die kürzeren Leitungswege und somit geringeren Druckverluste bei dezentralen Systemen kompensiert. Weiterhin ist festzustellen, dass die Laufzeiten der eingesetzten Antriebsmotoren der Ventilatoren entscheidenden Einfluss auf den Stromverbrauch haben.

Unter Berücksichtigung des geringfügig erhöhten Wartungs-, des zusätzlich erforderlichen Regelungs- und Ventilatorenergieaufwands und der häufig höheren Ansaugtemperaturen an der Fassade sind laut ILK Dresden – Studie wirtschaftliche Vorteile bei dezentralen Systemen möglich, wenn eine intelligente Gerätesteuerung (Qualitätsüberwachung der Raumluft) eingesetzt wird, die zur Primärenergieeinsparung beiträgt.

8.2. Vergleich dezentrale und zentrale Lüftungssysteme

Die Komfortbedürfnisse in Bürogebäuden sind im Allgemeinen gestiegen. Der Trend geht von der globalen Beheizung und Kühlung des Gebäudes hin zu einer individualisierten Konditionierung des Raumes. Jeder Mitarbeiter nimmt sein individuelles Klima im Gebäude mit, wenn er den Arbeitsplatz wechselt. Komfortbedingungen werden also zunehmend an Tätigkeiten und Arbeitsprozesse gekoppelt. Dabei bietet insbesondere die dezentrale Technik die Möglichkeit, individuell auf den momentanen Bedarf zu reagieren. Übersetzt auf die Büronutzung bedeutet das, dass jeder Nutzer hochgradig individuell und auf seine Bedürfnisse angepasst seine Arbeitsumgebung hinsichtlich der Raumkonditionen anpassen kann. Im Vergleich zu zentralen Lüftungsanlagen können dezentrale Systeme zudem zu unterschiedlichen Zeiten betrieben werden – somit erweisen sie sich als energetisch besonders vorteilhaft. Die Möglichkeit, dass der jeweilige Nutzer des Raumes die Betriebszeiten bzw. die Betriebsparameter bestimmt, kann zu Energieeinsparungen führen.

Der CCI Promotor Verlag weist in seinem **Sonderdruck aus CCI Print 12/2005** darauf hin, dass Lüftungs- und Klimaanlage in Büro- und Verwaltungsgebäuden flexibel konzipiert sein müssen, dass sie bei einer vom Nutzer gewünschten Umgestaltung der Raumkonzepte in Einzel-, Gruppen-, Zonen- oder Großraum weiterhin eine hohe thermische Behaglichkeit sicherstellen können. „Die Mieter und die Nutzer – also die in den Büros tätigen Personen – müssen die wichtigsten Funktionen und Eigenschaften ihrer Lüftungs- und Klimaanlage

kennen und wissen, wie sie diese bedienen können. Aber gerade hier gibt es häufig auch bei modernsten Gebäuden immense Mängel und Unterlassungssünden.“ (Bertram Canzler)

Hinzu kommt, dass zentrale Versorgungssysteme nur im besten Fall auf individuelle Büroraumtypen optimal angepasst sind. Bei einem Nutzungswechsel oder einer grundlegenden Sanierung des Gebäudes mit Änderung des Büroraumtyps muss diese Technik aufwändig angepasst werden. Dies führt zu hohen Umbaukosten, verbunden mit einem notwendigen Expertenwissen, der extremen Störung des Betriebsablaufes, um nur einige Folgen zu nennen. Die Sanierung im Betrieb ist somit bei zentralen Versorgungssystemen nur schwer zu realisieren.

Durch die Veränderung der globalen Konditionierung des Raumklimas hin zu einer individualisierten Konditionierung eines Zonenklimas wird überflüssiger Energieeinsatz zur Grundversorgung vermindert. Fehlbedienungen wirken direkt auf den Nutzer – wenn sie vorkommen, haben sie geringeren Einfluss, da sie sich nur auf den Raum oder eine Zone begrenzt auswirken. Dezentrale Lüftungsgeräte haben lt. Herstellerangaben einen spezifischen Energieverbrauch von 0,15 Wh/m³. Zentrale Lüftungsanlagen können lt. DeAL – Abschlussbericht hingegen mit einem spezifischen Energieverbrauch von 0,5 Wh/m³ angenommen werden. Das bedeutet, dass sich aufgrund der Möglichkeit zur präsenzabhängigen Lüftung bei dem Einsatz von dezentraler Lüftungstechnik der Energiebedarf um etwa 2/3 reduziert.

Jedoch ist bei der dezentralen Konditionierung des Raumes zu beachten, dass eine hohe Effektivität nur bis zu einer Raumtiefe von 6 m gegeben ist. Darüber hinaus ist der Einsatz dieser Technik begrenzt und sollte deshalb mit zusätzlichen technischen Komponenten versehen werden. Bei Räumen mit einer Raumtiefe > 6 m bzw. bei einer hohen Personenzahl ist der Einbau von z.B. zusätzlichen Kühl- bzw. Heizdeckengeräten sowie ergänzende Lüftungsmöglichkeiten zur erforderlichen Frischluftversorgung notwendig. Alternativ ist eine Kombination aus dezentralem Lüftungsgerät an der Fassade und Aktivierung der Decken bzw. der Speichermassen zur Wärmespeicherung und zur Raumkühlung empfehlenswert. Dies setzt allerdings bauliche Gegebenheiten des zu sanierenden Gebäudes voraus.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Bilanzierung der Luftmengen bei der dezentralen Luftversorgung aufwendig ist. Der auf das Gebäude wirkende Winddruck an der Fassade führt zu einer Verschiebung des Ventilatorarbeitspunktes, infolgedessen unbestimmte Druckverhältnisse im Raum entstehen können. Der Effekt eines „Querzugs“ im Gebäude

kann jedoch durch entsprechende Regeleinrichtungen bzw. Regelungstechnik minimiert teilweise sogar ganz vermieden werden. Bei den untersuchten Lüftungsgeräten in der Klimakammer des Instituts für Gebäude- und Solartechnik wird der angestrebte Volumenstrom für die Leistungsstufen 1 bis 3 durch den im Gerät vorhandenen Volumenstrombegrenzer und der Steuerung der Ventilatoren bei dem untersuchten Fassadendruck / -sog sichergestellt.

Untersuchungen von zentralen und dezentralen Lüftungsanlagen bei gleicher Nutzungsdauer verdeutlichen, dass bei höheren Lufttemperaturen im Sommerfall im unmittelbaren Bereich der Fassadengrenzschicht bei dezentralen Geräten ein höherer Energiebedarf zur Luftaufbereitung notwendig ist als bei zentralen Anlagen. Im Winterfall hingegen kann dieser Mehraufwand durch die Erwärmung der Fassadenoberfläche durch die Sonne kompensiert und Heizenergie eingespart werden. Der Primärenergiebedarf beider Systeme ist in unseren Klimaregionen also untereinander vergleichbar, vorausgesetzt die Ansaugtürme zentraler Anlagen saugen die Außenluft nicht aus der „warmen“ Grenzschicht.

Im Folgenden sind die Vor- und Nachteile dezentraler und zentraler Anlagen aufgeführt:

dezentrale Technik	zentrale Technik
<ul style="list-style-type: none"> • Entfernen von abgehängten Decken – größere Gestaltungsfreiheit – ggf. Aktivierung der Speichermassen • Komfortverbesserung durch Sanierung • Sanierung abschnittsweise möglich • kleinere Technikzentralen • geringer Platzbedarf • geringere Energiekosten • flexible Raumnutzung • Betrieb nur bei individueller Nutzerpräsenz im jeweiligen Raum • Nutzereinfluss auf das Raumklima mit individuellem Komfort • Energieeinsparung durch Sekundärluftwärmenutzung • Elektroenergieeinsparung für den Lufttransport (geringe Druckverluste) • Winddruckkompensation berücksichtigen • Verzicht auf Abschottung von Lüftungskanälen • größerer Nutzflächengewinn durch Lage der Lüftungsgeräte möglich • verursacherbezogene Abrechnungsmöglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • geringerer Wartungsaufwand • Wartung erfolgt außerhalb des vermieteten Raums, jedoch muss die gesamte Lüftungsanlage deaktiviert werden • kürzere Medienleitungen • Be- und Entfeuchtung der Raumluft einfacher realisierbar • Klimatisierung größerer Raumtiefen möglich • höherer Wärmerückgewinnungsgrad • Sanierung im Betrieb sehr aufwändig • lange verlustreiche und aufwändig zu erstellende Versorgungswege mit trägem Verteilverhalten • schwierige Messung von individuellen Verbräuchen und damit geringe Transparenz und Vergleichbarkeit

Tabelle 22 Vor- und Nachteile dezentraler und zentraler Lüftungsanlagen

8.3. Multifunktionale Elementfassaden

Überträgt man die Integrationsmöglichkeiten dezentraler Technik auf multifunktionale Elementfassaden, so werden dem Architekten neue Wege zur energetischen Sanierung von Nicht-Wohngebäuden aufgezeigt. Dies führt so weit, dass die für die dezentralen Lüftungsgeräte notwendigen Medienversorgungen in die zu sanierende Fassade bzw. Gebäudehülle verlegt und somit weitestgehend von der ausführenden Fassadenfirma vorab vorkonfektioniert werden können. Dieses multifunktionale Fassadenelement wird schließlich komplett auf die Baustelle geliefert und an das Gebäude montiert, so dass auf der Baustelle nur noch geringe Montageleistungen notwendig sind. Eine passgenaue Vorfertigung im Werk unter Berücksichtigung der Komponenten von Gebäudehülle und -technik, ist in diesem Fall gegeben. Durch die multifunktionale Elementbauweise besteht die Möglichkeit das Sanierungsobjekt unter geringer Einflussnahme der Mietflächen abschnittsweise zu renovieren. Sowohl der Rückbau des Gebäudes, als auch die „Sanierung im Betrieb“ und die damit verbundene Ertüchtigung der Gebäudesubstanz erfolgt in den meisten Fällen schnell und problemlos. Unter architektonischen, bauphysikalischen und gebäudetechnischen Gesichtspunkten wird bei einem Nicht-Wohngebäude der 50er bis 70er Jahre ein hoher energetischer Standard durch den Einsatz der multifunktionalen Elementfassade erreicht, der die individuellen Bedürfnisse der Nutzer und den damit verbundenen Nutzerkomfort berücksichtigt.

Die Einbindung nachhaltiger dezentraler Komponenten zur Energieerzeugung (z.B. Photovoltaik) in die Fassade, ermöglicht der Elementbauweise zusätzliche Funktionen über die bereits genannten Aufgaben hinaus. Bereits in der Planungsphase arbeitet ein interdisziplinäres Team bestehend aus unterschiedlichen Fachdisziplinen zusammen und ermöglicht somit die Einbindung unterschiedlicher Gewerke in die multifunktionale Elementfassade. Aufgrund des hohen Grads der Vorfertigung im Werk und der Einbindung verschiedener Gewerke ist eine sehr hohe Qualitätssicherung des Produkts gegeben. In den häufigsten Fällen werden diese Produkte bei der Herstellung im Werk bauaufsichtlich überwacht und erst nach einer Prüfung für die Baustelle freigegeben. Ein hohes Maß an Passgenauigkeit und Qualität ist somit gegeben und ermöglicht eine reibungslose Montage vor Ort.

Im Sanierungsfall besteht die Möglichkeit den Innenraum des Gebäudes von der veralteten klimatechnischen Ausstattung zu befreien. Durch den Einsatz und die Integration der gesamten Gebäudetechnik in die Fassade können neue, flexible, architektonisch anspruchsvolle Bürostrukturen im Innenraum realisiert werden.

8.3.1. Dezentrale und modulare Gebäudetechnik zur Steigerung der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts

Die gewonnenen Interface-Erkenntnisse aus den Laborversuchen des Instituts für Gebäude- und Solartechnik werden in dem seit 01.02.2009 begonnenen Forschungsprojekt „DeMo – Dezentrale und modulare Gebäudetechnik zur Steigerung der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts“ unter realen Bedingungen getestet. Dazu wird die untersuchte E²-Fassade der Firma Schüco International KG, bestehend aus einer Ganzglasfassade mit integrierten Unterflurlüftungsgeräten (Einbauvariante 1), in einem 1:1 Modell hergestellt und unter realen Bedingungen am Hochhaus BS 4 der Technischen Universität Braunschweig untersucht. Gegenstand des Antrags ist die Planung, die Errichtung, der Betrieb und das Monitoring des entstehenden Praxislabors „future:worklab“ und somit die Schaffung von Büroarbeitsplätzen für die geplanten Reihenuntersuchungen im Forschungsprojekt „DeMo“.



Abbildung 157 Multifunktionale Elementfassade auf der Südwestfassade des BS 4



Abbildung 158 Gesamtansicht BS 4

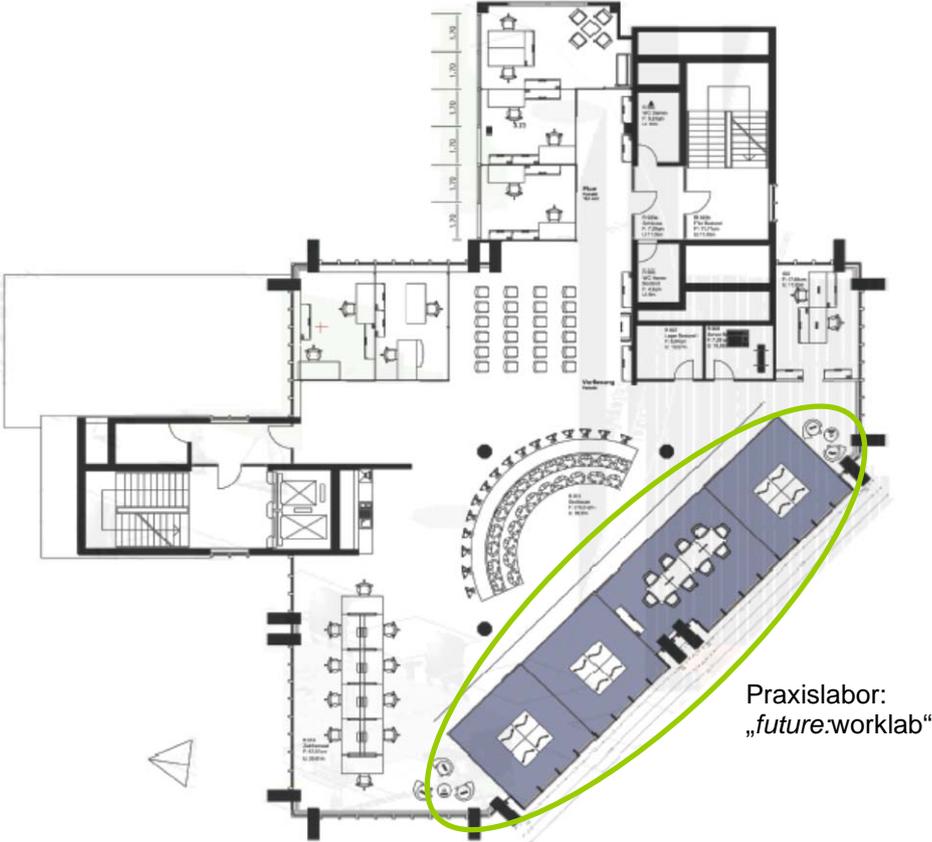


Abbildung 159 Grundriss 9. Obergeschoss BS 4 – Gebäude, TU Braunschweig

Im Wesentlichen werden folgende Ziele verfolgt:

Entwicklung modularer Bausteine zur Sanierung im Betrieb

- Lösungen zur Individualisierbarkeit des Raumklimas
- Optimierung der technischen Infrastruktur
- Entwicklung von Regelstrategien für dezentrale Technik
- Virtuelle Abbildung von Objekten
- Virtuelle Abbildung von Prozessen (Planungsprozesse und Arbeitsprozesse)
- Transparenz des Gebäudebetriebs
- Verbesserung der Energieeffizienz
- Reduzierung der Betriebskosten

Das Forschungsprojekt „DeMo – Steigerung von Energieeffizienz und Nutzerkomfort in Bürogebäuden durch dezentrale und modulare Gebäudetechnik“ ist eingebunden in das Projekt „future:workspace“. Im Rahmen der Sanierung der Büroetage des 9. Obergeschosses des Hochhauses BS 4 der TU Braunschweig werden dabei Büroarbeitswelten von Morgen geschaffen. Besonderer Fokus erhält dabei der Südwestteil der Büroetage – hier entstehen Büroarbeitsplätze (drei Büros mit je zwei Arbeitsplätzen und ein Besprechungsraum) hinter einer multifunktionalen Elementfassade.

Die Büros bieten durch Ihre Lage im Gebäude ideale Voraussetzungen, um als Praxislabor vergleichbare wissenschaftliche Untersuchungen zuzulassen. Es werden also Laborbedingungen in der Praxis geschaffen. In diesen speziellen Räumen werden die Themen der dezentralen Gebäudetechnik inkl. der Entwicklung von modularen Fassaden zur energetischen Sanierung des Gebäudes unter praktischen Gegebenheiten entwickelt.

Neben der internetbasierten Gebäudeleittechnik werden die Auswirkungen auf den energieeffizienten Gebäudebetrieb und die Arbeitsprozesse im Betrieb untersucht. Die Arbeitsplatzergonomie und die Bedienbarkeit werden im Hinblick auf die Nutzerzufriedenheit und den Nutzerkomfort analysiert. Das Praxislabor bietet dabei vielfältige Möglichkeiten zu vergleichenden Untersuchungen zur Effizienz unterschiedlicher Raumkonditionierungs- und Regelungssystemen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts sollen die folgenden Antworten gefunden werden:

- Wie sieht der Arbeitsplatz der Zukunft aus?
- Welche Möglichkeiten zur Gestaltung gibt es?
- Wie wirken sich das Arbeitsumfeld und die Arbeitsplatzergonomie auf die Produktivität und Gesundheit der Mitarbeiter aus?
- Wie ändert sich die Infrastruktur durch die Vernetzung technischer Systeme?

- Welche Chancen bieten Integrale Planung und modularisierte Vorfertigung?
- Welche Technologien und technischen Entwicklungen tragen im besonderen Maße zur Energieeinsparung bei?

Das future:workspace mit den am Monitoring und der Evaluierung beteiligten Räumen ist eine Plattform, die im Zusammenspiel von Architektur, Technik und Nutzung die Büroarbeitsplätze von morgen demonstriert. Es entsteht eine Experimentierlandschaft für neues Bauen, die den Studierenden, Planern, Bauherrn und allen Interessierten Chancen und Perspektiven der Arbeitswelten von Morgen zeigen.

Kapitel 9

Zusammenfassung und Leitfaden

9. ZUSAMMENFASSUNG UND LEITFADEN

9.1. Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt Interface wird die Eignung multifunktionaler Elementfassaden mit dezentralen Lüftungsgeräten für den energetischen Sanierungsfall untersucht. Bewertet werden u. a. die Leistungsfähigkeit der Geräte und der Komfort für Nutzer und Betreiber.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur gewünschten Raumtemperaturen werden für den Sommer- und Winterfall durch den Einsatz dezentraler Technik unter Laborbedingungen überwiegend gut eingehalten.
- Durch die Raumkonditionierung mit dezentralen Lüftungsgeräten kann eine gute Behaglichkeit am Arbeitsplatz erreicht werden.
- Die Komfortkriterien nach DIN EN ISO 7730 (Kategorie A bzw. B) werden hinsichtlich Temperatur, Raumlufffeuchte und Geschwindigkeit eingehalten.
- Durch den Einsatz der Wärmerückgewinnung kann der Wärmebedarf deutlich verringert werden.
- Die Investitionskosten für die Umsetzung dezentraler Lüftungskonzepte liegen in etwa in derselben Höhe wie bei zentralen Lüftungsanlagen.
- Der Luftvolumenstrom kann individuell durch das Einstellen entsprechender Leistungsstufen auf den Nutzerbedarf angepasst werden.
- Dezentrale Lüftungsgeräte lassen sich ohne großen Aufwand präsenzabhängig regeln. Die Folge ist das Erzielen von deutlichen Energieeinsparungen im Betrieb.
- Bei Neubauten lässt sich durch dezentrale Lüftungskonzepte eine höhere Flächeneffizienz erzielen. Durch die Integration der Technik in die Fassade (Elementfassade) lassen sich z.B. der Deckenaufbau und damit die Geschosshöhe reduzieren.
- Durch das hohe Maß an Vorfertigung eignet sich die dezentrale Elementfassade mit integrierter Technik besonders für die Sanierung. Die Bildung von Sanierungsabschnitten wird durch die Modulbauweise begünstigt.

9.2. Planungsempfehlungen

Bestandsgebäude, besonders die aus der Zeit erhöhter Bautätigkeit in den 50er bis 70er Jahren, können die Komfortansprüche moderner Büro- und Kommunikationsnutzungen häufig nicht mehr erfüllen. Energetisch stehen die Gebäude oft um ein Vielfaches schlechter da als effizient geplante und realisierte Neubauten und müssen aufgrund ihrer Nutzungsdauer ohnehin saniert werden. Folgende Aspekte sollten bei der Sanierungsplanung berücksichtigt werden:

Konstruktion und Standortbedingungen

Auf der Grundlage einer Bestandsanalyse werden die Konstruktion der Fassade und die Qualität der Gebäudehülle hinsichtlich des bauphysikalischen Zustands bewertet. Ist aus wirtschaftlichen und energetischen sowie komforttechnischen Gründen eine Erneuerung der Fassaden erforderlich, kann der Einsatz einer multifunktionalen Elementfassade mit integrierter dezentraler Lüftungstechnik in Frage kommen. Hier entscheiden sowohl architektonische wie statische Aspekte. Typische wirtschaftliche Bauweisen der 50er bis 70er Jahre, wie z.B. Stahlbeton-Skelettkonstruktionen, bieten optimale Voraussetzungen für eine Sanierung mit Elementfassaden. Abbildung 160 und Abbildung 161 zeigen Beispiele von Bürogebäuden mit großem Sanierungsbedarf, die sich für den Umbau mit fassadenintegrierter Technik eignen.



Abbildung 160 Bürogebäude in Braunschweig erbaut 1971 (links) – Foto: IGS



Abbildung 161 Bürogebäude in Hamburg erbaut 1956 (rechts) – Foto: IGS

Der Einsatz der dezentralen Lüftungstechnik setzt nicht zwangsläufig das Entfernen der Brüstung voraus. Sprechen Denkmalschutz, Baukonstruktion oder die Fassadengestaltung gegen eine grundlegende Veränderung der Gebäudeansicht können dezentrale Brüstungsgeräte die Büroräume belüften, heizen und kühlen. Für die Sanierung mit dezentralen Brüstungsgeräten gibt es zahlreiche Beispiele, die sich in der Praxis bewährt

haben und eine Alternative zur zentralen Versorgung darstellen. Abbildung 162 zeigt das Neckermann Rechenzentrum in Frankfurt, das mit dezentraler Technik umgerüstet wurde.



Abbildung 162 Neckermann Rechenzentrum – Frankfurt

Für dezentrale Konzepte sind die Standortbedingungen mit ihren spezifischen klimatischen Verhältnissen, sowie die Gebäudehöhe planungsrelevante Parameter.

So führt z.B. in warmen Regionen die solare Einstrahlung im Sommer zu deutlich höheren Grenzschichttemperaturen an der Fassadenoberfläche. Die Differenz zur Außentemperatur kann mehrere Kelvin betragen und nimmt mit der Gebäudehöhe zu. Da die Frischluft direkt aus der Grenzschicht der Fassade angesaugt wird, erhöht sich unter Umständen die erforderliche Kühlleistung. In der Regel wird dann der Wasservolumenstrom erhöht oder der Wärmetauscher größer ausgelegt. Eine Absenkung der Medientemperaturen führt an dieser Stelle zu Komforteinbußen durch zu niedrige Zulufttemperaturen.

Werden Gebäude in Meeresnähe geplant oder saniert, müssen die Geräte bzw. die Fassaden den besonderen Anforderungen hinsichtlich des hohen Salzgehaltes in der Luft erfüllen können.

Vorteile bringen dezentrale Lüftungsgeräte, wenn sich Gebäude in einem lärmbelasteten Umfeld wie z.B. stark befahrenen Straßen befinden. Durch die mechanische schallgeschützte Lüftung kann auf das Öffnen der Fenster verzichtet werden. Der akustische Komfort in den Räumen kann deutlich verbessert werden.

Beim Einsatz der Technik in Hochhäuser müssen die Geräte besonders in den oberen Geschossen auf erhöhte Winddruck bzw. –sogverhältnisse ausgelegt sein. Die technische Ausstattung der Geräte sollte unter diesen Bedingungen einen konstanten Luftvolumenstrom gewährleisten. Möglich wird das zum Beispiel durch den Einsatz eines eingebauten Volumenstrombegrenzers.

Unzureichender sommerlicher Wärmeschutz führt in Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre häufig zu Überhitzungsproblemen in den Büros. Im Zuge der Sanierung sind die Anforderungen der DIN 4108 Teil 2 bzw. der Arbeitsstättenrichtlinie einzuhalten. Durch die Optimierung der Gebäudehülle in Kombination mit einer Konditionierung durch dezentrale Technik kann der Komfort entscheidend verbessert werden. Die vom Institut für Gebäude- und Solartechnik in dem Forschungsprojekt „Interface“ getesteten Varianten der E²-Fassade sind so entwickelt, dass ein „Komfort - Paket“ aus Frischluftversorgung, hoher Tageslichtnutzung und integriertem Sonnenschutz entsteht. Dabei ist der Sonnenschutz außen liegend in die Fassade integriert und hält Windbelastungen bis 30 m/s (Herstellerangaben) stand.

Vorteile bietet die dezentrale Technik auch beim Brandschutz im Gebäude. Durch den Verzicht von Lüftungsleitungen kann die Konditionierung der Räume mit deutlich geringerem Aufwand als bei zentralen Lüftungsanlagen realisiert werden. Folgekosten wie z.B. die Wartung und Instandhaltung von Brandschutzklappen entfallen.

Gebäudenutzung

Mit der energetischen Sanierung soll neben der Verbesserung der Energieeffizienz der Raumkomfort an den Anspruch für moderne Büro- und Arbeitswelten angepasst werden. Die Gebäudenutzung und die Raumbelastung entscheiden über die Art der Konditionierung. So können für große Raumvolumina oder Räume mit hoher Belegungsdichte zentrale Lüftungsgeräte sinnvoll sein, insbesondere dann, wenn zusätzlich große Heiz- oder Kühllasten anfallen. Zur Steigerung des Nutzerkomforts bei Büronutzung kann dezentrale Gebäudetechnik zum Einsatz kommen und individuelle Ansprüche befriedigen.

Neben der Verbesserung der Raumklimabedingungen steht bei der Bestandssanierung von Bürogebäuden häufig die Erhöhung der Flächeneffizienz im Mittelpunkt. Durch die Integration der Anlagentechnik in die Gebäudehülle, bieten dezentrale Lösungen im Fußboden-, im Decken- oder im Brüstungsbereich Vorteile gegenüber einer zentralen Versorgung mit großen Lüftungsquerschnitten und Lüftungsanlagen. Der Verzicht auf Lüftungsleitungen macht Deckenabhängungen überflüssig, die modulare Bauweise erhöht die Flexibilität der Grundrisse.

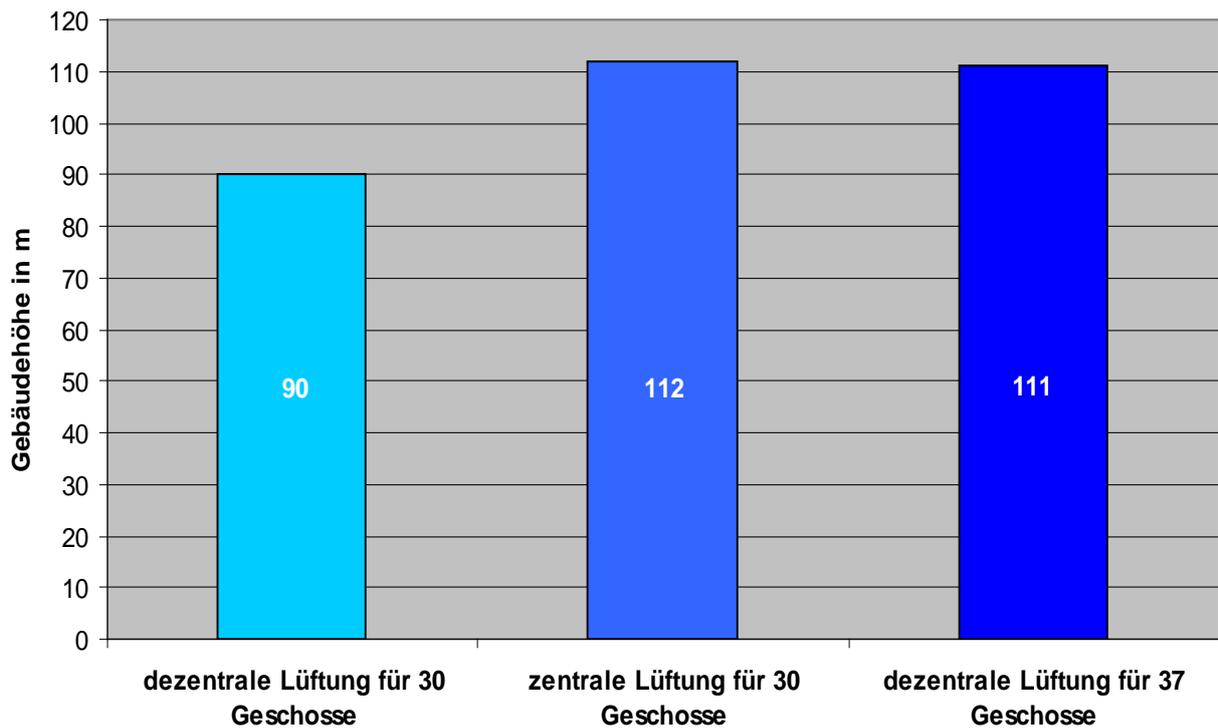


Abbildung 163 Flächeneffizienz von zentraler und dezentraler Lüftung im Vergleich

Nutzer

Der Komfort am Arbeitsplatz wird maßgeblich durch den Mindestluftwechsel und die Luftqualität während der Anwesenheit des Mitarbeiters bestimmt. Um maximalen Nutzerkomfort mit geringen Betriebskosten zu verbinden, muss die Anlagentechnik energieeffizient arbeiten. Dazu können z.B. auf den Mitarbeiter abgestimmte Nutzerprofile die An- oder Abwesenheit berücksichtigen. So wird durch anlagentechnische Regelung vermieden, dass Aufenthalts- oder nicht besetzte Büroräume unnötig mit konditionierter Zuluft versorgt werden.

Die Belegungsdichte in einem Raum bestimmt die Anzahl dezentraler Lüftungsgeräte. Die Einstellmöglichkeit durch den Wechsel der Leistungsstufe mit dem resultierenden Luftvolumenstrom sind begrenzt. Soll die dezentrale Lüftungstechnik in Großraumbüros eingesetzt werden, müssen Gerätevarianten vorgesehen werden. Zellenbüros orientieren sich entlang der Außenfassade, sodass sich die Integration von dezentraler Technik an dieser Stelle besonders gut eignet.

Energieaufwand zur Luftaufbereitung

Um eine optimale Geräteauswahl und –dimensionierung zu treffen, ist es erforderlich, die inneren (Personen und Abwärme von Geräten und Beleuchtung) und äußeren (sommerliche Wärmeschutz) Lasten in den vorgesehenen Räumen zu bestimmen bzw. durch Simulation

zu ermitteln. Daraus lassen sich die erforderliche Geräteleistung (Luftvolumenstrom) sowie die Heiz- und Kühlleistung bestimmen. Eine nutzerangepasste Regelung führt zur deutlichen Reduzierung des Energieaufwands.

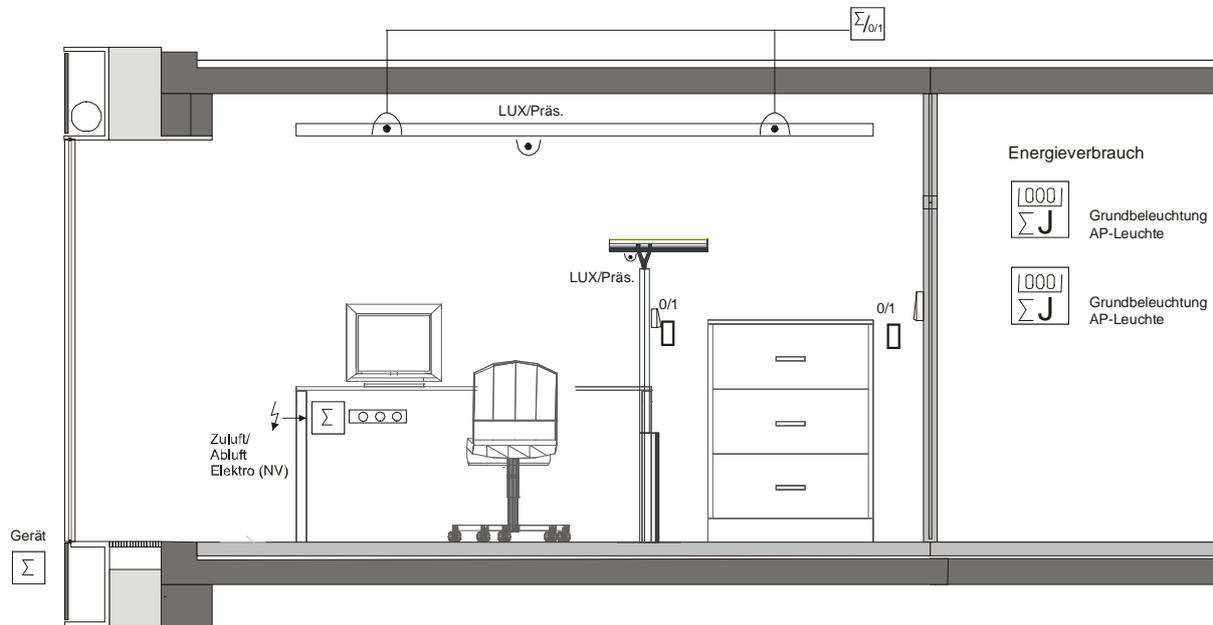


Abbildung 164 Zusammenstellung der inneren Lasten am Beispiel eines Büroraums

Dezentrale Lüftungsgeräte bieten den Vorteil, dass keine langen Betriebsvorlaufzeiten erforderlich sind – der Energiebedarf ist somit geringer als bei zentraler Lüftungstechnik. Der Energieaufwand fällt zusätzlich geringer aus, da die Transportenergie für konditionierte Luft durch die langen Kanäle mit den entsprechenden Widerständen im System der zentralen Anlagen entfällt.

Durch die abschnittsweise Integration dezentraler Lüftungsgeräte besteht die Möglichkeit die Energiekosten nutzerspezifisch separat aufzuschlüsseln.

Lüftungskonzept

Beim Einsatz dezentraler Technik in der Gebäudesanierung entscheidet das Lüftungskonzept über die Wahl der Einbauvariante. Welches Gerät optimal in die Sanierung eingebunden werden kann, wird aus baukonstruktiven, statischen und architektonischen Gesichtspunkten heraus entschieden. Soll z.B. die Brüstung erhalten bleiben empfehlen sich Brüstungsgeräte. Sollte dieser Bereich zur Integration der Geräte nicht zur Verfügung stehen, bieten sich Fassadenlüftungsgeräte an, die z.B. als Deckengeräte oder als ganze Lüftungseinheiten vor der Brüstung installiert werden. Die Anschlussleitungen dafür können beispielsweise in der abgehängten Decke geführt werden. Diese Geräte sollten aus Gründen der Energieeffizienz mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet werden. Kombinationen

aus dezentraler Technik und Heiz- und/oder Kühldecken sind möglich, in einigen Fällen sogar sehr ökonomisch.



Abbildung 165 dezentrales Brüstungsgerät – Foto: TROX GmbH (links)



Abbildung 166 dezentrales Lüftungselement installiert auf einer Brüstung (rechts)

Sollte keine Brüstung vorhanden sein oder besteht die Möglichkeit die Brüstung zu entfernen, kommt der Einsatz von dezentralen Unterflurlüftungsgeräten in Frage. Diese Unterflurlüftungsgeräte können als Zu- und Abluftgeräte, oft auch in Kombination mit Sekundärluftgeräten (zur schnellen Raumaufheizung) ausgeführt werden und bieten ebenfalls die Möglichkeit der Integration einer Wärmerückgewinnung aus der Abluft. Die Wartung dieser Geräte ist bedingt durch den einfachen Einbau mit geringem technischem Aufwand zu realisieren. Die Ausführung kann in jeder Büroachse eines Raumes erfolgen – die Raumnutzung bleibt somit vollkommen flexibel.

Um eine ganzheitliche Sanierung der Gebäudehülle und -technik zu gewährleisten, bei gleichzeitiger Bereitstellung eines optimierten Nutzerkomforts und der Steigerung der Energieeffizienz bieten sich multifunktionale Elementfassaden an. Der Aspekt einer „Sanierung im Betrieb“ gewinnt hierbei an Bedeutung, da die Elementfassade inklusiver aller Versorgungsleitungen bereits im Werk vorgefertigt und nur noch auf der Baustelle montiert werden muss.



Abbildung 167 Unterflurlüftungsgerät – Foto: TROX GmbH (links)

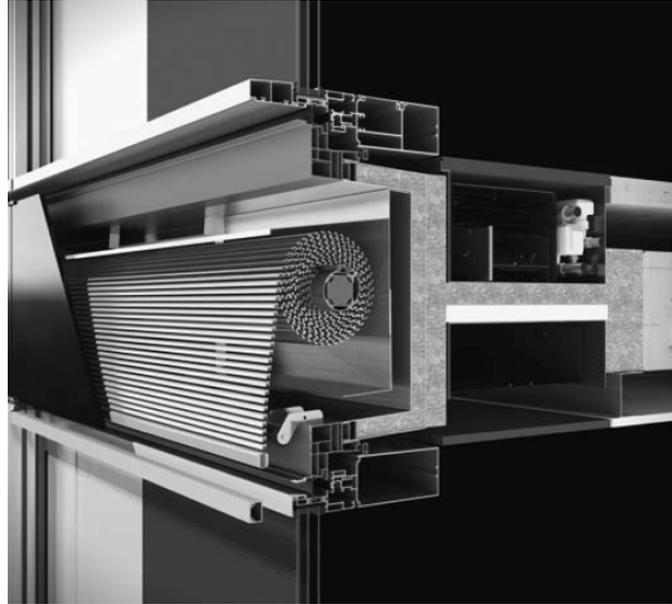


Abbildung 168 multifunktionale Elementfassade (rechts)

Sind besondere Anforderungen hinsichtlich des Feuchtegehaltes z.B. in Laboren, Museen, etc. gefordert, ist der Einsatz einer dezentralen Lüftungsanlage zu prüfen. In den meisten Fällen sind zentrale Lüftungsanlagen eher geeignet, wenn der Feuchtegehalt der Luft kontrolliert werden soll.

Regelung dezentrale Lüftung

Für die Regelung dezentraler Lüftungsgeräte gibt es verschiedene Lösungsmöglichkeiten: Die dezentralen Lüftungsgeräte können bei Präsenz, bei Fensteröffnung, einem CO₂-Höchstwert und bei Bedarf ein- und ausgeschaltet bzw. gesteuert werden.

Die Medientemperatur des Konvektors unterliegt z.B. einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung oder einer raumlufttemperaturabhängigen Einzelraumregelung. Die Regelung der Vorlauftemperatur im Kühlfall vermeidet Kondensatabfall im Gerät. Die Realisierung einer Regelung in der Klimakammer des Instituts für Gebäude- und Solartechnik erfolgt über eine 2-Punkt-Regelung bzw. über ein Thermostatventil. Eine Steuerung ist nicht vorgesehen.

Lufthygiene

Dezentrale Lüftungsgeräte gewährleisten eine bedarfsgerechte, konditionierte Frischluft. Wird eine regelmäßige Wartung mit Filterwechsel und Gerätereinigung vorgenommen, das Durchfeuchten des Filters durch Kondensat vermieden, geeignete Wetterschutzmaßnahmen und damit Schimmelbefall verhindert, sind nach VDI 6022 hygienisch einwandfreie

Bedingungen garantiert. Bei Einbau mehrerer Geräte nebeneinander sollten Kurzschlusseffekte vermieden werden.

Zentrale und dezentrale Lüftungstechnik

Die folgende Übersicht bietet eine Entscheidungshilfe bei der Auswahl von zentraler und dezentraler Lüftungstechnik:

Auswahlkriterien	Zentrale Technik	Dezentrale Technik
Flächenbedarf der Technikzentralen und Verteilsystem	hoch für Zentralgeräte und viel Platz beanspruchende Lüftungskanäle	gering, mehr nutzbarer Raum bei gleicher Luftleistung, geringer Platzbedarf für Kalt- und Warmwasserleitungen
Druckverlust im Verteilsystem	im Vergleich hoher Druckverlust und damit höhere Ventilatorleistung	gering, Luftverteilnetz entfällt
Technischer Aufwand für Brandschutz und Verhalten im Brandfall	hoch, Beachtung der Brandschutzabschnitte, Anlage schaltet im Brandfall ab (Rauchsensor)	gering, Beachtung der Brandüberschlagshöhe, Abschalten der Geräte muss über die GLT vorgesehen werden
Aufwand für Wetterschutz am Zuluft- und Fortluftkanal	gering, keine Durchfeuchtung der Filter	aufwändiger, Möglichkeit der Filterdurchfeuchtung gegeben
Kondensatabfuhr	leicht in der Technikzentrale realisierbar	aufwändig bei Kondensatanfall: dez. Kondensatleitungen bis zur zentralen Kondensatabfuhr
Luftqualität	hoch, Ansaugort kann beliebig gewählt werden	variabel, abhängig von der Luftqualität am Ansaugort
Schadstoffübertragung aus anderen Räumen	keine	kann über Fassadenansaugöffnung erfolgen
Baulicher Aufwand	hoch	gering, hoher

		Vorfertigungsgrad (Modulbauweise)
Prüfung des Außenluftanteils	möglich	mit hohem Aufwand zentrale Kontrolle über Funktionalität der Geräte
Nutzung der Gebäudespeichermassen	eingeschränkt möglich durch Lüftungskanäle im Deckenbereich	möglich bei Einbau von Vorhangfassade, Betonkernaktivierung kann erfolgen
Energieoptimierung	hoher Aufwand, eingeschränkt möglich durch Anpassung von Laufzeiten	bedarfsabhängiger Verbrauch
Be- und Entfeuchtung	geringer Aufwand	Aufwändig und teuer
Wärmerückgewinnungsgrad	hoch	niedriger als bei zentraler Technik
Schallemission	gering, realisiert mit angepassten Schalldämpfern	Schalldämmtechnik aufwändig
Nachrüstung	schwer realisierbar	einfach realisierbar
Wartungsaufwand	hoch	hoch, erfolgt in den Nutzerräumen

Tabelle 23 Entscheidungshilfe zentral und dezentrale Lüftung (Quelle: ILK Dresden)

Kapitel 10

Literaturangaben

10. LITERATURANGABEN

- [1] VDMA-Einheitsblatt 24390:2007-03, Dezentrale Lüftungsgeräte – Güte- und Prüfrichtlinie, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007.
- [2] Technische Universität Braunschweig: Institut für Gebäude- und Solartechnik: Forschungsvorhaben PROsab – Energieeffiziente und komfortgerechte Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre. Abschlussbericht, IGS, Braunschweig, 2008.
- [3] Mahler, B.; Himmler, R.; Silberberger, C.; Matt, C.: DeAL - Evaluierung dezentraler außenwandintegrierter Lüftungssysteme. Abschlussbericht. Stuttgart, 2008.
- [4] Broll, J.: DeAL – Evaluierung dezentraler außenwandintegrierter Lüftungssysteme in Bürogebäuden. Vorhabensbeschreibung. Steinbeis-Transferzentrum EGS, Stuttgart, 2005.
- [5] Prof. Dr. F. Pels Leudsen; Dr. H. Freymark: Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch, Gesundheits-Ingenieur 72, Jahrgang 1951, Seite 271, München, 1951.
- [6] DIN 1946-2: Raumluftechnik: Gesundheitstechnische Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1994.
- [7] DIN 1946-6: Raumluftechnik – Lüftung von Wohnungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2006.
- [8] DIN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden, Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage u. Raumkühlsysteme, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007.
- [9] DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007.
- [10] Rüsing und Rüsing: Erkenntnisse einer Umfrage des Institutes Gallup, Neuss, 2003.

- [11] Hartwig, Helge [u.a.]: Dezentrale Fassadenlüftungstechnik. Schlussbericht. Lehrstuhl für Bauklimatik u. Haustechnik, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen, München, 2003.
- [12] Institut für Luft- und Kältetechnik Gemeinnützige Gesellschaft mbH – Prof. Dr.-Ing. U. Franzke (u.a.); Trox Technik FSL: Wirtschaftlichkeit der dezentralen Klimatisierung im Vergleich zu zentralen RLT-Anlagen (Kurzfassung), Dresden, 2003.
- [13] Stahl, M. und Jochems, V.: Dezentrale Lüftungs- und Klimatechnik. Alles zum Thema aus CCI.Print. Promoter Verlags- und Förderungsges. mbH, Karlsruhe, 2005.
- [14] Kley, Christian: Analyse dezentraler außenwandintegrierter Lüftungssysteme in Bürogebäuden. Diplomarbeit. Hochschule Biberach, 2007.
- [15] Silberberger, Carsten: Evaluierung dezentraler außenwandintegrierter Lüftungssysteme in Bürogebäuden. Diplomarbeit. Hochschule Esslingen, Stuttgart, 2007.
- [16] Schramek, R.: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 05/06. Oldenbourg Industieverlag, München, 2005.
- [17] Hennings, Detlef: Elektrische Energie im Hochbau. Leitfaden Elektrische Energie. Vollständig überarbeitete Fassung 2000, Darmstadt, 2000.
- [18] Bertram Canzler: Dezentrale/ Zentrale Klimatisierung in Bürogebäuden: CCI Print 11/2005, Promotor Verlag Borsigstraße 3 D-76185 Karlsruhe Fon 07 21/5 65 14-0 Fax 07 21/5 65 14-50 www.cci-promotor.de Verlag@cci-promotor.de.
- [19] Richard Staub: Dezentrale Lüftungs- und Klimatechnik CCI: Print 03/2006, Promotor Verlag Borsigstraße 3 D-76185 Karlsruhe Fon 07 21/5 65 14-0 Fax 07 21/5 65 14-50 www.cci-promotor.de Verlag@cci-promotor.de.
- [20] Frank Kamping: Technik- Report: Sanierung eines großen Bestandsgebäudes „Galileo- Gebäude“: CCI. NET Kiosk 2002.
- [21] IKE: Universität Stuttgart: Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik, TU Dresden: Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung: Forschungsvorhaben BOLKA II: Bestimmung des Energiebedarfs zur Optimierung

von Luftkanalsystemen raumluftechnischer Anlagen Teil II: Schlussbericht 06/2004 – 08/2005.

- [22] Architektur und Klimatechnik: Bürogebäude mit dezentraler Klimatisierung: Nr. 124/2005.
- [23] Dr.- Ing. H. W. Roth: Energieeffiziente, dezentrale Lüftung in der Fassade: BdB Nachrichten: 03/2007.
- [24] LTG Aktiengesellschaft: Dezentrale Klimatisierung mit Be- und Entfeuchtung im Deutschen Historischen Museum, Berlin, Oktober 2004.
- [25] Dr. Oliver Franz, wik-Consult; Dr. Clemens Cremer, Dr. Harald Schäfer, Fraunhofer (ISI, ISE): Potenziale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (eEnergy), Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).
- [26] Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Richter: Bewertung von dezentralen, raumweisen Lüftungsgeräten für Wohngebäude sowie Bestimmung von Aufwandszahlen für die Wärmeübergabe in den Raum infolge Sanierungsmaßnahmen, BBR, 2004.
- [27] Becker, M.; Jager, W.: Was können Fassaden leisten? Integration von TGA-Komponenten in die Fassade Fachjournal IHKS, Ausgabe 2005/2006, Seite 50-58.
- [28] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007, Bonn, Juli 2007.
- [29] Prof. Dr.-Ing. M. Schmidt; Prof. Dr.-Ing. habil W. Richter; Dipl.-Ing. F. Kolarik; Dipl.-Ing. J.Lampert: Forschungsvorhaben BOLKA-II Bestimmung des Energiebedarfs zur Optimierung von Luftkanalsystemen Raumluftechnischer Anlagen Teil II, 2005.
- [30] DIN 15251: Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007.

- [31] VDI 6022 Blatt 1: Hygienische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2006.
- [32] LTG Aktiengesellschaft, Wagner; Dr. Roth: Vergleich zentraler und dezentraler RLT-Anlagen „Einsatzgebiete und Systemkosten“ (Präsentation, CCI-Fachtagung), Zürich, 2005.
- [33] DIN EN 12831: Heizsysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Nationaler Anhang NA, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.
- [34] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden (Teil 1-10), Beuth Verlag GmbH, Berlin, 02/2007.
- [35] EnEV 2007 – Energieeinsparverordnung: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Wohngebäuden, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 34, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 07/2007.
- [36] VDI 3804: Raumluftechnische Anlagen für Bürogebäude, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.
- [37] VDI 6035: Raumluftechnik, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.
- [38] www.springerlink.com - Quelle: H 3.1 Akustische Anforderungen an dezentrale Lüftungsgeräte, Thomas Sefker.
- [39] www.iemb.de/forschung/ald-behaglichkeit.pdf
- [40] www.schueco.de
- [41] www.trox.de
- [42] www.igs.bau.tu-bs.de

Kapitel 11

Abbildungsverzeichnis

11. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildung 1 Vergleich des spezifischen Energiebedarfs bei zentraler und dezentraler Lüftung – Quelle: DeAL- Abschlussbericht
- Abbildung 2 Matrix: Potenzial zur Sanierung mit dezentralen Lüftungsgeräten
- Abbildung 3 Matrix: Potential zur Sanierung mit dezentralen Lüftungsgeräten – Auswertung
- Abbildung 4 Ansicht Schüco E2-Fassade
- Abbildung 5 Detail Schüco E2-Fassade
- Abbildung 6 Fenster E²-Fassade
- Abbildung 7 Sonnenschutz E²-Fassade
- Abbildung 8 Sonnenschutz E²-Fassade / Raumeindruck
- Abbildung 9 Dezentralgerät
- Abbildung 10 Abhängigkeit von geistige Leistungsfähigkeit und Raumtemperatur
- Abbildung 11 Gebäudehöhe und Geschoszahl bei zentraler und dezentraler Lüftung – Quelle: ILK Dresden
- Abbildung 12 PV-Integration
- Abbildung 13 Lüftungstechnisches Schaltschema des Unterflurgerätes Schüco IFV 120 GH (Hersteller: TROX GmbH)
- Abbildung 14 Ansicht Schüco IFV 120 GH von außen / Ansicht Schüco IFV 120 GH von der Raumseite
- Abbildung 15 Lüftungstechnisches Schaltschema des Unterflurgerätes Schüco IFV 120 GI (Hersteller: TROX GmbH)
- Abbildung 16 Ansicht Schüco IFV 120 GI von außen / Ansicht Schüco IFV 120 GI von der Raumseite
- Abbildung 17 Lüftungstechnisches Schaltschema des Unterdeckengerätes Schüco IFV 120 CE (Hersteller: TROX GmbH)
- Abbildung 18 Ansicht Schüco IFV 120 CE von außen / Ansicht Schüco IFV 120 CE von unten
- Abbildung 19 Lüftungstechnisches Schaltschema des Unterdeckengerätes Schüco IFV 120 CB (Hersteller: TROX GmbH)

- Abbildung 20 Ansicht Schüco IFV 120 CB von außen / Ansicht Schüco IFV 120 CB von der Raumseite
- Abbildung 21 Klimakammer: Außenaufnahme
- Abbildung 22 Klimakammer: Innenaufnahme
- Abbildung 23 schematischer Versuchsaufbau in der Klimakammer
- Abbildung 24 Einbau der Wanne für Deckengerät
- Abbildung 25 Einbau der Wanne für Unterflurgerät
- Abbildung 26 Unterflurlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung
- Abbildung 27 Unterflurlüftungsgerät und Unterdeckenlüftungsgerät
- Abbildung 28 Unterdeckenlüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Bypass
- Abbildung 29 Anordnung der Messfühler und -einheiten im Innenraum der Klimakammer (Warmseite)
- Abbildung 30 Querschnitt Klimakammer mit Messfühleranordnung / Schnitt Klimakammer: schematische Darstellung
- Abbildung 31 Klassifizierung der Raumtemperatur nach DIN EN ISO 7730:2006
- Abbildung 32 Kategorie des Komfort-Monitoring
- Abbildung 33 Messung der Raumlufttemperatur und globale Temperatur, schematische Darstellung / Schnitt Klimakammer: schematische Darstellung
- Abbildung 34 operative Temperatur
Quelle: <http://www.swbherten.de/heizung/bilder/raumte1a.gif>
- Abbildung 35 Bewertung der operativen Temperatur im Sommer nach DIN EN ISO 7730:2006
- Abbildung 36 Messung der Oberflächentemperatur an der Fassade außen und innen / Ansicht Fassade aus dem Innenraum: schematische Darstellung
- Abbildung 37 Messung der relativen Raumluftfeuchte, Schnitt Klimakammer: schematische Darstellung
- Abbildung 38 Behaglichkeitsfeld für das Wertepaar Raumlufttemperatur / relative Luftfeuchte nach Leusden und Treyremark
- Abbildung 39 Aluminium- Rollrost, Fa. TROX / Luftströmungsrichtung aus dem Konvektor
- Abbildung 40 Messung der Luftgeschwindigkeit im Raum
- Abbildung 41 Bewertung der Luftbewegung in [m/s] nach DIN EN ISO 7730:2006 abhängig von der Jahreszeit

- Abbildung 42 Bewertung der Beeinträchtigung durch Zugluft (Draught Rating – DR) nach DIN EN ISO 7730:2006
- Abbildung 43 eckiger Fortluftauslass
- Abbildung 44 runder Fortluftauslass
- Abbildung 45 Versuchsaufbau
- Abbildung 46 Anordnung der Blower – Door in der Klimakammer
- Abbildung 47 Nebelversuch: Zuluftverteilung im Raum
- Abbildung 48 Nebelversuch: Fortluftausblasung an der Fassade
- Abbildung 49 Integration eines Vorhangs zur besseren Darstellung der Thermografie-Aufnahmen
- Abbildung 50 Messfühler für Tracergas- Messung am Deckengerät / Messwerterfassung und Berechnung
- Abbildung 51 Tracergas- Versuch, Volumenstromermittlung am Beispiel 80m³/h
- Abbildung 52 Diagramm Volumenstrom im Heiz- und Kühlfall
- Abbildung 53 Leistungen im Vergleich
- Abbildung 54 Zulufttemperaturen (sieben Messfühler)
- Abbildung 55 Anordnung der sieben Messfühler
- Abbildung 56 Berechnung des Zuluft-Volumenstroms unter Berücksichtigung der Zulufttemperatur
- Abbildung 57 Messergebnisse Zulufttemperatur, Beispiel: Heizfall
- Abbildung 58 Anordnung der drei Temperaturmessfühler
- Abbildung 59 Luft- und wasserseitige Konvektorleistungen im Vergleich
- Abbildung 60 Messergebnisse Temperatur vor dem Konvektor, Heizfall
- Abbildung 61 Messergebnisse Temperatur vor dem Konvektor, Kühlfall
- Abbildung 62 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall (tAU=-10°C), V1, Thermostatventil
- Abbildung 63 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall (tAU=-10°C), V2, Thermostatventil
- Abbildung 64 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall (tAU=-10°C), V3, Thermostatventil

- Abbildung 65 wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall ($t_{AU}=-5^{\circ}\text{C}$), V3
- Abbildung 66 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Heizfall ($t_{AU}=-10^{\circ}\text{C}$), V1, 2-Punktregler
- Abbildung 67 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Kühlfall ($t_{AU}= 26, 29, 32^{\circ}\text{C}$), V1, 2-Punktregler
- Abbildung 68 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Kühlfall ($t_{AU}= 26, 29, 32^{\circ}\text{C}$), V2, 2-Punktregler
- Abbildung 69 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, Kühlfall ($t_{AU}= 26, 29, 32^{\circ}\text{C}$), V3, 2-Punktregler
- Abbildung 70 Diagramm Zulufttemperatur
- Abbildung 71 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, $t_{AU}=-10^{\circ}\text{C}$, V1, 2-Punktregler-Trendlinie
- Abbildung 72 Diagramm wasserseitige Konvektorleistung, $t_{AU}=-10^{\circ}\text{C}$, V1, Thermostatventil-Trendlinie
- Abbildung 73 links: Luftführung Gerätevariante1
- Abbildung 74 rechts: Luftführung Gerätevariante 3 mit Messfühler für Raumlufttemperatur
- Abbildung 75 Konvektorleistung – $80\text{m}^3/\text{h}$
- Abbildung 76 Konvektorleistung – $120\text{m}^3/\text{h}$
- Abbildung 77 Konvektorleistung – $140\text{m}^3/\text{h}$
- Abbildung 78 Diagramm luftseitige Konvektorleistung; Heizfall ($t_{AU}=-10^{\circ}\text{C}$)
- Abbildung 79 Heizfall- Konvektorleistung Lüfterstufe 1-3, V2
- Abbildung 80 Kühlfall- Konvektorleistung Lüfterstufe 1-3, V2
- Abbildung 81 WRG- Grad bei 0°C und -5°C , Variante 1
- Abbildung 82 Diagramm WRG- Grad bei -10°C , Variante 1
- Abbildung 83 Auswertung Schalldruckpegelmessung, außen
- Abbildung 84 Diagramm Auswertung Schalldruckpegelmessung V2, innen
- Abbildung 85 Diagramm Drehzahlen Zu- und Abluftventilator $80\text{m}^3/\text{h}$, el. Leistung
- Abbildung 86 Diagramm Drehzahlen Zu- und Abluftventilator $120\text{m}^3/\text{h}$, el. Leistung
- Abbildung 87 Diagramm Drehzahlen Zu- und Abluftventilator $140\text{m}^3/\text{h}$, el. Leistung
- Abbildung 88 Vereisung an der Fassade im Heizfall

- Abbildung 89 Temperaturverlauf (Variante1) – Leistungsstufe 2, Heizfall
- Abbildung 90 Raumlufttemperatur, globale Temperatur, bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 1
- Abbildung 91 Diagramm Temperaturverlauf (Variante1) – Leistungsstufe 2, Kühlfall
- Abbildung 92 Raumlufttemperatur, globale Temperatur bei 26/ 29/ 32°C Ansaugtemperatur, Variante 1
- Abbildung 93 Oberflächentemperaturen Fassade bei ca. -10°C Außenlufttemperatur, Variante 1
- Abbildung 94 Oberflächentemperaturen Fassade bei 26, 29, 32°C, Variante 1 (ohne solare Einstrahlung)
- Abbildung 95 relative Feuchte im Testraum bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 1
- Abbildung 96 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treymark
- Abbildung 97 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treymark
- Abbildung 98 relative Feuchte im Testraum bei 26, 29, 32°C Ansaugtemperatur, Var. 1
- Abbildung 99 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Heizfall Einbauvariante 1
- Abbildung 100 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Kühlfall Einbauvariante 1
- Abbildung 101 Heizfall- Luftgeschwindigkeiten im Raum, Variante 1 / Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730
- Abbildung 102 Kühlfall- Luftgeschwindigkeiten im Testraum, Variante 1 / Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730
- Abbildung 103 Temperaturverlauf (Variante 2) – Leistungsstufe 2, Heizfall
- Abbildung 104 Raumlufttemperatur, globale Temperatur bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 2
- Abbildung 105 Temperaturverlauf (Variante 2) – Leistungsstufe 2, Kühlfall
- Abbildung 106 Raumlufttemperatur, globale Temperatur bei 26, 29, 32°C Ansaugtemperatur, Variante 2
- Abbildung 107 Oberflächentemperaturen Fassade bei -10°C Außenlufttemperatur, Variante 2
- Abbildung 108 Oberflächentemperaturen Fassade bei 26, 29, 32°C, Variante 2 (ohne solare Einstrahlung)

- Abbildung 109 Messung der Oberflächentemperatur an der Fassade außen und innen / Ansicht Fassade aus dem Innenraum: schematische Darstellung
- Abbildung 110 relative Feuchte im Testraum bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 2
- Abbildung 111 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treymark
- Abbildung 112 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treymark
- Abbildung 113 relative Feuchte im Testraum bei 26, 29, 32°C Ansaugtemperatur, Var. 2
- Abbildung 114 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Heizfall Einbauvariante 2
- Abbildung 115 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Kühlfall Einbauvariante 2
- Abbildung 116 Heizfall- Geschwindigkeiten Raum, Variante 2 / Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730
- Abbildung 117 Kühlfall- Geschwindigkeit im Raum Variante 2 / Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730
- Abbildung 118 Temperaturverlauf (Variante 3) – Leistungsstufe 2, Heizfall
- Abbildung 119 Raumlufftemperatur, globale Temperatur bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 3
- Abbildung 120 Temperaturverlauf (Variante 3) – Leistungsstufe 2, Kühlfall
- Abbildung 121 Raumlufftemperatur, globale Temperatur bei 26, 29, 32°C Ansaugtemperatur, Variante 3
- Abbildung 122 Oberflächentemperaturen Fassade bei -10°C Außenlufttemperatur, Var. 3
- Abbildung 123 Oberflächentemperaturen Fassade bei 26, 29, 32°C, Variante 3 (ohne solare Einstrahlung)
- Abbildung 124 relative Feuchte im Testraum bei -10°C Ansaugtemperatur, Variante 3, Heizfall
- Abbildung 125 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treymark
- Abbildung 126 Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Treymark
- Abbildung 127 relative Raumlufffeuchte, Variante 3, Kühlfall
- Abbildung 128 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Heizfall Einbauvariante 3
- Abbildung 129 Temperaturentwicklung und Luftverteilung im Raum, Kühlfall Einbauvariante 3

- Abbildung 130 Heizfall- Geschwindigkeiten Raum, Variante 3 / Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730
- Abbildung 131 Kühlfall- Geschwindigkeit im Raum Variante 3 / Bewertung der Behaglichkeit hinsichtlich des Zugluftrisikos nach DIN EN ISO 7730
- Abbildung 132 Rauchversuch: Abluftansaugung am Unterflurgerät – Einbauvariante 1
- Abbildung 133 Rauchversuch: Abluftansaugung am Deckengerät – Einbauvariante 2
- Abbildung 134 Diagramm Wärmeverbrauch
- Abbildung 135 Diagramm Kühlenergieverbrauch
- Abbildung 136 Vergleich Einbauvariante 1 und 3
- Abbildung 137 Integration einer Projektionsebene (dunkler Vorhang) für die Thermografie-Aufnahmen
- Abbildung 138 Einbauvariante 1, Heizfall, Ansaugtemperatur -10°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 139 Einbauvariante 2, Heizfall, Ansaugtemperatur -10°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 140 Einbauvariante 3, Heizfall, Ansaugtemperatur -10°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 141 Einbauvariante 1, Heizfall, Ansaugtemperatur 0°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 142 Einbauvariante 2, Heizfall, Ansaugtemperatur 0°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 143 Einbauvariante 3, Heizfall, Ansaugtemperatur 0°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 144 Einbauvariante 1, Kühlfall, Ansaugtemperatur 26°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 145 Einbauvariante 2, Kühlfall, Ansaugtemperatur 26°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 146 Einbauvariante 3, Kühlfall, Ansaugtemperatur 26°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 147 Einbauvariante 1, Kühlfall, Ansaugtemperatur 32°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 148 Einbauvariante 2, Kühlfall, Ansaugtemperatur 32°C (80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)

- Abbildung 149 Einbauvariante 1, Kühlfall, Ansaugtemperatur 32°C
(80 m³/h, 120 m³/h, 140 m³/h)
- Abbildung 150 Kurzschluss Einbauvariante 1
- Abbildung 151 Verhindern eines Kurzschlusses
- Abbildung 152 Konvektor mit Luftleitblech
- Abbildung 153 Kurzschluss auf der simulierten Außenseite der Klimakammer
- Abbildung 154 Kurzschluss, Heizfall, Variante 1
- Abbildung 155 Kurzschluss, Kühlfall, Variante 1
- Abbildung 156 Filterwechsel
- Abbildung 157 Multifunktionale Elementfassade auf der Südwestfassade des BS 4
- Abbildung 158 Gesamtansicht BS 4
- Abbildung 159 Grundriss 9. Obergeschoss BS 4 – Gebäude, TU Braunschweig
- Abbildung 160 Bürogebäude in Braunschweig erbaut 1971 – Foto: IGS
- Abbildung 161 Bürogebäude in Hamburg erbaut 1956 – Foto: IGS
- Abbildung 162 Neckermann Rechenzentrum – Frankfurt
- Abbildung 163 Flächeneffizienz von zentraler und dezentraler Lüftung im Vergleich
- Abbildung 164 Zusammenstellung der innere Lasten am Beispiel eines Büroraums
- Abbildung 165 dezentrales Brüstungsgerät – Foto: TROX GmbH
- Abbildung 166 dezentrales Lüftungselement installiert auf einer Brüstung
- Abbildung 167 Unterflurlüftungsgerät – Foto: TROX GmbH
- Abbildung 168 multifunktionale Elementfassade